

LED照明设计与应用（第3版）

■ 刘祖明　黎小桃　陈　丽　编著

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书根据我国绿色照明工程计划，结合我国近年来 LED 照明市场的发展现状，分析了当前 LED 的技术发展和 LED 在照明方面的发展方向，结合实例介绍 LED 驱动器及元器件选择方法，以 LED 照明灯具的应用与设计及 LED 调光为重点，着重介绍室内照明及商业照明 LED 灯具，如 LED 日光灯、LED 射灯、LED 台灯、LED 吸顶灯、LED 球泡灯、LED 轨道灯、LED 玉米灯等的设计与应用。同时，还介绍了调光类灯具，如 LED 台灯，并结合当前 LED 发展技术，介绍了户外照明灯具，如 LED 路灯、风光互补 LED 路灯及太阳能 LED 路灯、LED 投光灯、LED 隧道灯，以及 LED 景观照明及 LED 广告类照明灯具等的设计与应用，具有较强的实战性与参考性。

本书题材新颖、内容丰富多彩、通俗易懂、切合实际，将照明用 LED 的参数选择与 LED 驱动器工作原理进行有机结合，具有广泛的适用性。

本书适合从事 LED 照明研发、设计、应用的工程技术人员阅读使用，也可作为高等学校相关专业的教学用书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

LED 照明设计与应用 / 刘祖明，黎小桃，陈丽编著. —3 版. —北京：电子工业出版社，2017.10
ISBN 978-7-121-32804-6

Ⅰ. ①L… Ⅱ. ①刘… ②黎… ③陈… Ⅲ. ①发光二极管－照明设计 Ⅳ. ①TN383.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 242585 号

策划编辑：张 剑
责任编辑：刘真平
印　　刷：
装　　订：
出版发行：电子工业出版社
　　北京市海淀区万寿路 173 信箱　邮编：100036
开　　本：787×1092　1/16　印张：26.25　字数：672 千字
版　　次：2011 年 6 月第 1 版
　　2017 年 10 月第 3 版
印　　次：2017 年 10 月第 1 次印刷
印　　数：2 000 册　　定价：88.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：zhang@phei.com.cn。

前　言

我国是世界上人口最多的国家，电力资源相当贫乏。近 20 年来，每年的用电量增长率均超过 15%，能源危机已十分紧迫。节约资源、减少能耗是关系到当今人类社会可持续发展的重大现实问题，同时节能减排已成为我国各级政府的发展战略。加强节能减排工作，也是应对全球气候变化的迫切需要。绿色照明作为节约电能、保护环境的重要措施，是人类现代文明的标志之一。1993 年，我国把照明节电提升到资源节约工作的优先位置，大力推广高效照明灯具，建立优质长寿、安全可靠、经济适用、减少环境污染的绿色照明系统。

我国政府正在以科学发展观为指导，加快发展现代能源产业，坚持节约资源和保护环境的基本国策，把可持续发展能力、建设创新型国家作为发展战略，继续为世界经济发展和繁荣做出更大贡献。在全球能源短缺、环保要求不断提高的情况下，2008 年北京奥运会和 2010 年上海世博会都不约而同地以“绿色节能”为主题，这给中国 LED 照明产业的发展带来了巨大的历史机遇。在“零碳照明”与“零碳建筑”的推动下，LED 又迎来了新的发展机遇。随着节能环保、低碳社会意识的普及和深入，LED 照明技术的应用已活跃于商业、室内、家居、户外、景观照明领域。2016 年 9 月，在我国杭州召开的 G20 峰会，在照树灯及装饰沿线建筑楼宇的亮化中，又将 LED 照明提高到新的高度。目前，LED 光源也在高科技农场中使用。

从 2014 年起，中国、美国、韩国和澳大利亚等国对白炽灯的限制范围扩大至住室内照明，根据《中国逐步淘汰白炽灯路线图》计划，从 2016 年 10 月 1 日起，将禁止进口和销售 15W 及以上的白炽灯。欧盟针对白炽灯的使用做出决定，2012 年年底彻底禁止出售。目前占照明灯市场销售量 70%的卤素灯，欧盟将于 2018 年起逐步禁止。

自 2015 年 9 月 1 日起，LED 模块用直流或交流电子控制装置（LED 电源）进行强制性认证（3C 认证）。2016 年 6 月国家发展改革委发布了《普通照明用非定向自镇流 LED 灯能源效率标识实施规则》，10 月 1 日起实施，即 2016 年 10 月 1 日起 LED 球泡灯必须加贴能源效率标识才能上市销售。

目前，国际社会普遍认为光电技术是 21 世纪的尖端科技之一。如果对 21 世纪具有代表意义的主导产业进行排序，第一产业无疑是光电子产业，而 LED 正是光电子产业中最重要的光电子材料和器件，是整个产业的基础。国际上大功率白光 LED 产业化的光效水平已经达到 130lm/W，实验室光效已达 231 lm/W；小功率白光 LED 实验室光效已达 249 lm/W。

我国是电子制造业大国，国内的手机、汽车等产业是 LED 发展的巨大推动力，而且随着国家半导体照明工程的发展，国内 LED 产业具有广阔的发展前景。半导体照明在我国作为一个重大工程进行推动，我国的科技部也已批准上海、大连、南昌、厦门、深圳 5 地作为 LED 产业化基地。

本书结合作者多年来在 LED 照明行业工作的经验，综合目前 LED 照明产业状况及发展趋势，主要介绍 LED 照明领域的室内照明产品（商业与家居照明），以 LED 照明灯具的应用与设计及 LED 调光为重点，着重介绍了室内照明及商业照明 LED 灯具，如 LED 日光灯、LED 射灯、LED 台灯、LED 吸顶灯、LED 球泡灯、LED 轨道灯、LED 玉米灯等的设计与应

用。同时，还介绍了调光类灯具及控制系统，如 LED 台灯，并结合当前 LED 发展技术，介绍了户外照明灯具，如 LED 路灯（风光互补 LED 路灯及太阳能 LED 路灯）、LED 投光灯、LED 隧道灯，以及 LED 景观照明灯具和 LED 广告灯具等的设计与应用，结合目前的销售环境，对一些相关的认证及检测要求进行了简单介绍。

本书列出了部分 LED 照明灯具组装及设计的案例，有的案例还提供了组装流程的图片或流程图、检验要求。结合电路及灯具设计要求，同时也介绍了部分 LED 驱动器电路或设计灯具控制电路或原理图，读者完全可根据书中给出的电路原理图或结合具体的使用条件进行设计，收到举一反三的效果，在设计时根据合适的条件设计出性价比最优的产品。

笔者长期从事 LED 照明技术的研究和开发工作，积累了丰富的实践经验，并且编写了数本关于 LED 照明方面的图书，在业界产生了一定的影响。特别是笔者在前几年出版的《LED 照明设计与应用（第 2 版）》一书，深受读者的关注，很多读者发来邮件或打来电话与笔者交流 LED 技术，并提出了宝贵的意见。笔者经过这两年的考虑，在吸取读者意见的基础上，并结合这几年 LED 发展的新技术，决定对《LED 照明设计与应用（第 2 版）》一书进行修订，增加了切合当前实际的 LED 照明设计实例与新技术，使本书内容更加全面和实用。

本书由刘祖明、黎小桃、陈丽编著。全书共分 10 章，其中黎小桃编写了第 1～4 章，陈丽编写了第 5～7 章，刘祖明编写了第 8～10 章、附录。刘祖明负责全书的统稿工作。参加本书编写的还有刘文沁、钟柳青、钟勇、张安若、祝建孙、刘国柱、刘艳生、刘艳明和邱寿华。在此，对以上人员致以诚挚的谢意。

本书在写作过程中参考了大量书籍，也引用了互联网上的资料，在此向这些书籍和资料的原作者表示衷心的感谢；同时在资料收集和技术交流方面都得到了国内外专业学者和同行的支持，在此也向他们表示衷心的感谢。有些引用资料的出处，基于各种原因可能未能出现在参考文献中，在此表示歉意与感谢！

本书的所有实例都经过编著者的实际应用，但由于 LED 照明设计涉及面广，实用性强，加之编著时间仓促，以及作者水平有限，书中存在不足之处在所难免，敬请广大读者批评指正。同时感谢读者选择了本书，希望我们的努力能对您的工作和学习有所帮助，也希望广大读者不吝赐教，以便我们在再版时做到精益求精。

编著者

目　　录

第 1 章　LED 基础知识 …… 1
1.1　LED 的基本概念 …… 2
1.1.1　LED 的基本结构与发光原理 …… 2
1.1.2　LED 的特点 …… 5
1.2　LED 芯片的类型 …… 7
1.3　LED 光参数定义及其详解 …… 11
1.3.1　可见光谱 …… 11
1.3.2　LED 发光器件光度学参数的测量 …… 12
1.3.3　LED 光通量 …… 13
1.3.4　LED 发光强度 …… 14
1.3.5　LED 相对光谱能量分布 $P(\lambda)$ …… 15
1.3.6　LED 的峰值波长 λ_p 和光谱半波宽 $\Delta\lambda$ …… 15
1.4　LED 外延片简介 …… 16
1.5　LED 封装工艺流程和发展 …… 20
1.6　LED 的基本特性与使用注意事项 …… 22
1.6.1　常见的 LED 电性能参数 …… 22
1.6.2　LED 防静电知识 …… 26
1.7　LED 灯珠的测试 …… 28
第 2 章　光与照明基础知识 …… 33
2.1　光的基本知识 …… 34
2.1.1　光的基本概念 …… 34
2.1.2　光的基本度量 …… 34
2.2　光源颜色、色温与显色性 …… 36
2.3　光与视觉 …… 38
2.4　电光源及电器器件与灯具 …… 41
2.4.1　光源及其分类 …… 41
2.4.2　照明电器附件 …… 44
2.4.3　灯具 …… 44
2.5　传统照明灯具光源知识简介 …… 46
2.6　LED 照明灯具选用原则 …… 50
2.6.1　LED 室内照明灯具选用原则 …… 50
2.6.2　LED 商业照明灯具选用原则 …… 51
第 3 章　LED 照明市场分析及 LED 技术参数 …… 53
3.1　LED 照明市场的现状与前景 …… 54

3.2 LED 照明灯具系统组合 …… 56
3.3 LED 灯具设计需注意的几个问题 …… 57
3.4 LED 照明设计需要注意的技术细节 …… 58
3.5 LED 散热器的选择 …… 59
3.6 LED 光学透镜的选择 …… 64
3.7 LED 封装与产品规格书 …… 65
3.7.1 LED 封装 …… 65
3.7.2 LED 产品规格书 …… 67
3.8 LED 死灯现象分析与探讨 …… 86
第 4 章 商业照明用 LED 灯具的设计与组装 …… 89
4.1 LED 灯具的开发前景与目前存在的主要问题 …… 91
4.2 MR16 灯杯的设计与组装 …… 93
4.2.1 MR16 灯杯简介 …… 93
4.2.2 MR16 灯杯的驱动电源 …… 95
4.2.3 MR16 灯杯 3×1W 的组装工具和材料 …… 100
4.2.4 MR16 灯杯 3×1W 的组装 …… 103
4.2.5 MR16 灯杯的检验要求 …… 107
4.3 E27/GU10 3W 射灯的设计与组装 …… 108
4.3.1 E27/GU10 3W 射灯驱动电源的设计 …… 110
4.3.2 E27/GU10 3W 射灯的组装 …… 112
4.3.3 LED 射灯的检验要求 …… 116
4.4 PAR LED 灯的设计与组装 …… 118
4.4.1 PAR LED 灯简介 …… 118
4.4.2 5W/7W PAR30 LED 的设计与组装 …… 121
4.4.3 PAR LED 灯的检验要求 …… 125
4.5 LED 轨道灯的设计与组装 …… 127
4.5.1 LED 轨道灯简介 …… 127
4.5.2 LED 轨道灯的组装 …… 128
4.5.3 LED 轨道灯的检验要求 …… 129
4.6 LED 格栅灯的设计与组装 …… 131
4.6.1 LED 格栅灯简介 …… 131
4.6.2 LED 格栅灯的组装 …… 132
4.6.3 LED 格栅灯的检验要求 …… 132
4.7 LED 天花灯的设计与组装 …… 134
4.7.1 LED 天花灯简介 …… 134
4.7.2 LED 天花灯的组装 …… 135
4.7.3 LED 天花灯的检验要求 …… 136
4.8 LED 照明产品老化 …… 138

4.9 LED 照明灯具市场分析与应用 …… 139
4.10 LED 应用交流电驱动技术说明 …… 142
4.11 常用室内照明灯具简介 …… 143
第 5 章 室内照明用 LED 灯具的设计与组装 …… 145
5.1 LED 日光灯简介 …… 146
5.2 LED T8 管的设计与组装 …… 154
5.2.1 LED T8 管驱动器的设计 …… 154
5.2.2 LED T8 管的组装 …… 160
5.2.3 LED 一体化灯管的设计 …… 168
5.3 LED 日光灯认证及检验要求 …… 171
5.3.1 LED 日光灯 UL 认证要求 …… 171
5.3.2 LED 日光灯安规要求 …… 173
5.3.3 LED 日光灯的检验要求 …… 175
5.4 LED 球泡灯的设计与组装 …… 178
5.4.1 LED 球泡灯简介 …… 178
5.4.2 LED 球泡灯的组装 …… 182
5.4.3 LED 球泡灯的检验要求 …… 185
5.5 LED 节能灯杯的设计与组装 …… 186
5.5.1 LED 财神灯的设计与组装 …… 186
5.5.2 LED 节能灯的设计 …… 191
5.6 LED 植物生长灯的设计 …… 193
5.7 LED 玉米灯的设计与组装 …… 194
5.8 LED 吸顶灯的设计与组装 …… 199
5.8.1 LED 吸顶灯简介 …… 199
5.8.2 LED 吸顶灯的组装 …… 200
5.8.3 LED 吸顶灯的检验要求 …… 201
5.9 LED 筒灯的设计与组装 …… 203
5.9.1 LED 筒灯简介 …… 203
5.9.2 LED 筒灯的组装 …… 203
5.9.3 LED 筒灯的检验要求 …… 206
5.9.4 LED 应急筒灯 …… 210
第 6 章 调光类 LED 灯具的设计与组装 …… 211
6.1 LED 照明灯具的调光方式 …… 212
6.2 LED 台灯的设计与组装 …… 221
6.2.1 LED 台灯性能简介 …… 221
6.2.2 触摸开关 LED 台灯参数说明 …… 224
6.2.3 触摸开关芯片 …… 225
6.2.4 5W 触摸 LED 台灯的设计 …… 229

6.2.5 1 键触摸 LED 灯无级调光 ADA01AL 芯片介绍 …… 231
第 7 章 户外照明 LED 灯具的设计与组装 …… 238
7.1 LED 路灯的设计与组装 …… 239
7.2 风光互补 LED 路灯设计 …… 254
7.3 太阳能 LED 路灯设计 …… 268
7.4 LED 投光灯的设计与组装 …… 277
7.5 LED 隧道灯的设计与组装 …… 279
7.6 LED 室外照明灯具简介 …… 280
第 8 章 LED 景观照明灯具的设计与组装 …… 283
8.1 景观照明的术语 …… 284
8.2 LED 景观照明 …… 285
8.3 LED 模组的设计 …… 286
8.4 LED 埋地灯的设计与组装 …… 299
8.5 LED 洗墙灯的设计与组装 …… 301
8.6 LED 数码管的设计与组装 …… 306
8.7 LED 点光源的设计与组装 …… 327
第 9 章 广告类 LED 照明灯具的设计与组装 …… 335
9.1 LED 广告灯箱的设计与组装 …… 336
9.2 LED 广告字 …… 341
9.3 LED 灯带 …… 350
9.4 LED 控制系统 …… 357
9.4.1 LED 控制系统功能分类 …… 359
9.4.2 LED 控制系统的结构与组成 …… 360
9.5 LED 工程设计与安装注意事项 …… 360
第 10 章 LED 驱动电路 …… 365
10.1 LED 驱动技术 …… 366
10.1.1 LED 驱动的技术方案 …… 366
10.1.2 LED 驱动器的特性 …… 370
10.1.3 LED 与 LED 驱动器的匹配 …… 377
10.2 白光 LED 驱动技术 …… 380
10.2.1 白光 LED 驱动器 …… 380
10.2.2 白光 LED 驱动电路的设计 …… 383
10.2.3 白光 LED 的并联和串联驱动 …… 384
10.2.4 白光 LED 的驱动电路 …… 384
10.2.5 白光 LED 工作电流的匹配 …… 390
10.3 白光 LED 驱动电路拓扑的选择 …… 393
附录 A 照明灯具标准或技术规范及认证规则 …… 397
附录 B IP 防护等级简介 …… 407
参考文献 …… 409

LED 照明设计与应用（第3版）

第1章

LED 基础知识

发光二极管（Light-Emitting Diode，LED）照明的作用不仅在于带动 LED 照明产业的快速成长，更重要的是起到了节能减排的表率作用。LED 照明在奥运场馆、城市景观照明上的出色表现，将会促进其他领域对 LED 照明的使用。随着 LED 产品技术的逐步成熟以及产品价格的逐步下降，LED 产品开始大量应用于项目工程中， LED 照明的应用呈现出爆炸式的发展。我国 LED 照明产业已迎来新的发展高峰。在全球能源短缺、环保要求不断提高的情况下，2008 年北京奥运会和 2010 年上海世博会都不约而同地以“绿色节能”为主题；2016 年杭州 G20 峰会的 LED 灯光，给 G20 峰会文艺晚会增色不少，这给我国 LED 照明产业的发展带来了巨大的历史机遇。

本章主要介绍 LED 的发光原理、分类、制作的工艺流程、发展趋势及应用等基础知识。

1.1 LED 的基本概念

不同材料制成的 LED 能发出不同颜色的光。由镓（Ga）与砷（As）、磷（P）的化合物制成的 LED 中，有发红光的磷砷化镓（GaAsP）LED，有发绿光的磷化镓（GaP）LED，有发黄光的碳化硅（SiC）LED。当其电子与空穴复合时能辐射出可见光，因而利用这个特性来制成 LED，LED 在电路及仪器中常常作为指示灯，或者组成矩阵显示文字或数字。

LED 是半导体二极管的一种，可以把电能转化成光能。LED 与普通二极管一样都是由一个 PN 结组成的，同时具有单向导电性。当给 LED 加上正向偏置电压后，从 P 区注入到 N 区的空穴和由 N 区注入到 P 区的电子，在 PN 结附近数微米内分别与 N 区的电子和 P 区的空穴复合，产生自发辐射的荧光。不同的半导体材料中电子和空穴所处的能量状态不同，电子和空穴复合时释放出的能量多少不同。释放出的能量越多，则发出的光的波长越短。当它处于正向工作状态（即两端加上正向电压），电流从 LED 阳极流向阴极时，半导体晶体就发出从紫外到红外不同颜色的光线，光的强弱与电流有关。

1.1.1 LED 的基本结构与发光原理

1．LED 的基本工作原理

LED 是一种直接注入电流的发光器件，是半导体晶体内部受激电子从高能级回到低能级时，发射出光子的结果，这就是通常所说的自发发射跃迁。当 LED 的 PN 结加上正向偏置电压时，注入的少数载流子和多数载流子（电子和空穴）复合而发光。值得注意的是，大量处于高能级的粒子各自分别自发发射一列列的光波，但各列光波之间没有固定的相位关系，可以有不同的偏振方向，并且每个粒子所发射的光沿所有可能的方向传播，这个过程称为自发发射。

2．LED 的基本结构

LED 由支架、银胶、晶片、金线、环氧树脂 5 种物料所组成。直插式 LED（DIP LED）和大功率 LED 的基本结构如图 1-1 所示。直插式 LED 芯片被固定在导电、导热的带

两根引线的金属支架上，有反射杯（或反光碗）的引线为阴极，另外一根引线为阳极。芯片外围封以环氧树脂（帽），一方面可以保护芯片，另一方面起（透镜）聚光作用。LED 的两根引脚不一样长时，其中较长的一根为阳极。如果 LED 的两根引脚一样长，则通常在管壳上有一凸起的小舌，靠近小舌的引脚是阳极。

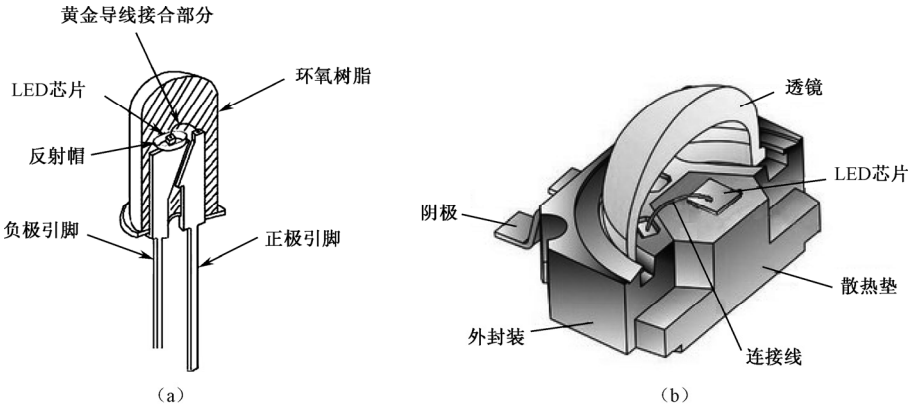


图 1-1　直插式 LED 和大功率 LED 的基本结构

LED 芯片及封装向大功率方向发展，发光效率提升与器件成本降低并重是 LED 核心技术发展的趋势。LED 器件效率已达 150lm/W，目前 LED 的大功率、集成化是 LED 芯片和光源发展的一种趋势。目前主要有三种芯片级模组，即正装芯片模组、垂直芯片模组、倒装芯片模组。芯片模组光源的发展趋势是高亮度 LED 芯片、集成度更高的光源，在商业照明、道路照明、室内照明等领域，集成的 LED 光源有很大的应用市场。功率型 LED 的热特性直接影响到 LED 的工作温度、发光效率、发光波长、使用寿命等，因此，对功率型 LED 芯片的封装设计、制造技术显得尤为重要。

LED 芯片是 LED 器件的核心，其结构如图 1-2 所示。LED 芯片为分层结构，芯片两端是金属电极；底部为衬底材料；当中是由 P 型层和 N 型层构成的 PN 结；发光层被夹在 P 型层和 N 型层之间，是发光的核心区域。P 型层、N 型层和发光层是利用特殊的外延生长工艺在衬底材料上制得的。在芯片工作时，P 型层和 N 型层分别提供发光所需要的空穴和电子，它们被注入到发光层发生复合而产生光。LED 的封装示意图如图 1-3 所示。而实际中的芯片结构比其要复杂得多。LED 芯片制作技术是 21 世纪的高新技术之一。

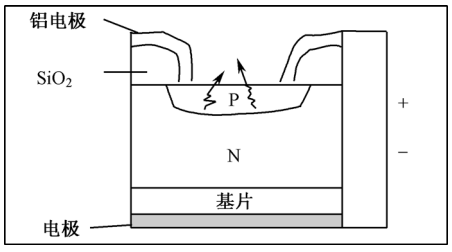


图 1-2　LED 结构图

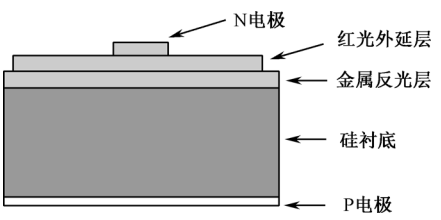


图 1-3　LED 的封装示意图

LED 的图形符号如图 1-4 所示，其文字符号用字母 V 或多字母 $V_{L(E)}$ 表示。低压直流

供电（如干电池）的简单工作电路如图 1-5 所示。LED 工作在正向电压偏置时，其发光亮度随正向电流 I_F 的增大而增强。为限制其工作电流，电路中通常需要串联一个限流电阻（也称镇流电阻）R。普通小功率 LED 工作时的正向电压降 V_F 为 1.5～3V，工作电流 I_F 为 5～20mA。而白光 LED 的正向电压降范围通常为 2.8～3.6V（常规电压为 2.8～3.2V），大功率白光 LED 的工作电流有 350mA、700mA、1050mA 三种，功率分别为 1W、2W、3W，如图 1-6 所示。中功率白光 LED 的工作电流有 60mA、150mA，功率分别为 0.2W、0.5W。全光谱照植物生长灯珠 SMD LED5730，功率为 0.5W，波长 380～850nm。



图 1-4　LED 的图形符号

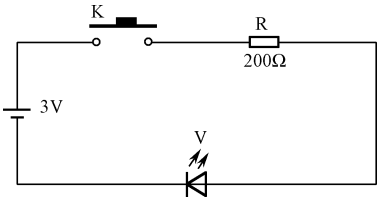


图 1-5　低压直流供电工作电路

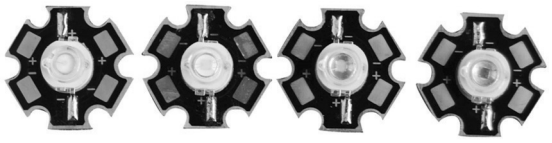


图 1-6　大功率白光 LED（流明型）



大功率 LED 封装类型种类多，读者可以根据设计要求选择合适的封装，常用的封装为流明型与科锐公司的封装。

3．LED 发光原理

LED 的核心部分是由 P 型半导体和 N 型半导体组成的晶片，在 P 型半导体和 N 型半导体之间有一个过渡层，称为 PN 结。LED 的核心是 PN 结。因此它具有一般 PN 结的单向导电特性，即正向导通、反向截止、击穿特性。此外，在一定条件下，它还具有发光特性。在正向偏置电压下，电子由 N 区注入 P 区，空穴由 P 区注入 N 区。进入对方区域的少数载流子（少子）一部分与多数载流子（多子）复合而发光，如图 1-7 所示。

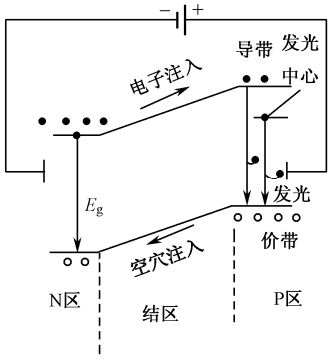


图 1-7　LED 的发光原理

假设发光是在 P 区中发生的，那么注入的电子与价带空穴直接复合而发光，或者先被发光中心捕获后，再与空穴复合发光。除了这种发光复合外，还有些电子被非发光中心（这个中心介于导带、价带中间附近）捕获，而后再与空穴复合，每次释放的能量不大，不能形成可见光。发光的复合量相对于非发光复合量的比例越大，光量子效率越高。由于复

合是在少子扩散区内发光的，所以仅在靠近 PN 结面数微米以内产生光。

理论和实践证明，光的峰值波长λ与发光区域的半导体材料禁带宽度E_g有关，即

$$\lambda \approx 1240/E_g（\text{mm}） \qquad (1\text{-}1)$$

式中，E_g的单位为电子伏特（eV）。

若能产生可见光，则其波长为 380（紫光）～780nm（红光）。半导体材料的 E_g 应为 3.26～1.63eV。比红光波长长的光为红外光。现在已有红外、紫外、红、黄、绿及蓝光 LED，紫外 LED 分为近紫外 LED（波长大于 380nm）与深紫外 LED（波长小于 300nm），深紫外光源主要应用于照明、杀菌、医疗、印刷、生化检测、高密度的信息储存和保密通信等领域。

1.1.2 LED 的特点

LED 作为一种出现时间最晚的照明技术，自 20 世纪 60 年代诞生以来，得到了长足的发展和应用。而相对于白炽灯、荧光灯等老一代发光设备，LED 的特点主要体现在以下几个方面。

- ☺ 电压。LED 使用低压电源，供电电压为 DC 6～24V，根据产品不同而异，所以它的使用更安全，特别适用于公共场所。
- ☺ 效能。消耗能量较同光效的白炽灯减少 80%。
- ☺ 适用性。LED 尺寸很小，每个单元 LED 小片是 3～5mm 的正方形，所以可以制备成各种形状的器件，并且适合于易变的环境。
- ☺ 稳定性。工作 10 万小时，光衰为初始的 50%。
- ☺ 响应时间。白炽灯的响应时间为毫秒级，LED 灯的响应时间为纳秒级。
- ☺ 对环境污染。无有害金属水银（汞）。
- ☺ 颜色。LED 方便地通过化学修饰方法，调整材料的能带结构和禁带宽度可实现红、黄、绿、蓝、橙多色发光。红光管工作电压较小，颜色不同的红、橙、黄、绿、蓝的 LED 工作电压依次升高。
- ☺ 价格。LED 的价格现在越来越平民化，因 LED 省电的特性，推测也许不久的将来，人们都会把白炽灯换成 LED 灯。现在，我国部分城市的公路、学校、厂区等场所已换装万盏 LED 路灯、LED 日光灯等。
- ☺ 抗震性能好。LED 是一种电致发光光源，其结构特性决定了震动对其影响较小。

1．单色光 LED 的种类及其发展历史

LED 光源问世于 20 世纪 60 年代初。当时所用的材料是 GaAsP，发红光（λ_p=650nm），在驱动电流为 20mA 时，光通量只有千分之几个流明（lm），相应的发光效率约为 0.1lm/W。

70 年代中期，引入元素 In 和 N，使 LED 可产生绿光（λ_p=555nm）、黄光（λ_p=590nm）和橙光（λ_p=610nm），光效也提高到 1lm/W。

到了 80 年代初，出现了 GaAlAs 的 LED 光源，使得红色 LED 的光效达到 10lm/W。

90 年代初，发红光、黄光的 GaAlInP 和发绿、蓝光的 GaInN 两种新材料的开发成功，

使 LED 的光效得到大幅度的提高。在 2000 年，前者做成的 LED 在红、橙区（λ_p=615nm）的光效达到 100lm/W，而后者制成的 LED 在绿色区域（λ_p=530nm）的光效可以达到 50lm/W。现在的 LED 已能发出红色、黄色、蓝色、绿色、橙色、琥珀色、蓝绿双色、红绿双色、黄绿色、纯绿色、翠绿色、白色等各种光束。

对于一般照明而言，人们更需要白色的光源。1998 年发白光的 LED 开发成功。这种 LED 是将 GaN 芯片和钇铝石榴石（YAG）封装在一起做成的。GaN 芯片发蓝光（λ_p=465nm，W_d=30nm），高温烧结制成的含 Ce^{3+}的 YAG 荧光粉受此蓝光激发后发出黄色光，峰值 550nm。蓝光 LED 基片安装在碗形反射腔中，覆盖以混有 YAG 的树脂薄层，厚 200～500nm。LED 基片发出的蓝光部分被荧光粉吸收，另一部分与荧光粉发出的黄光混合，可以得到白光。现在，对于 InGaN/YAG 白色 LED，通过改变 YAG 荧光粉的化学组成和调节荧光粉层的厚度，可以获得色温 2700～10000K 的各色白光。

半导体材料的发光机理决定了单一 LED 芯片不能发出连续光谱的白光，必须以其他的方式合成白光。目前产生白光的方式有两种：一种是用单色光激发荧光粉发出其他颜色的光，最终混合成白光，即单芯片型；另一种是将几种发不同色光的芯片封装在一起，构成发白光的 LED，即多芯片型。白光 LED 类型及其原理见表 1-1。

表 1-1　白光 LED 类型及其原理

序号	芯片数	激　发　源	发 光 材 料	发 光 原 理
1	1	蓝色 LED	InGaN/YAG	用蓝色光激励 YAG 荧光粉发出黄色光，从而混合成白光
2	1	蓝色 LED	InGaN/荧光粉	InGaN 的蓝光激发红、绿、蓝三基色荧光粉发光
3	1	蓝色 LED	ZnSe	由薄膜层发出的蓝光和基板上激发的黄光混合成白光
4	1	紫外 LED	InGaN/荧光粉	InGaN 发出紫外光激发红、绿、蓝三基色荧光粉发白光
5	2	蓝、黄绿 LED	InGaN、GaP	将具有补色关系的两种芯片封装在一起，发出白光
6	3	蓝、绿、红 LED	InGaN、AlInGaP	将发三原色的三种芯片封装在一起发出白光
7	多个	多种光色的 LED	InGaN、AlInGaP、GaPN	将遍布可见光区的多种色光芯片封装在一起，构成白色 LED

单芯片型结构又可分为 3 种。

☺ 将蓝色 LED InGaN 芯片与钇铝石榴石（YAG）荧光粉组合成二基色白光 LED，或由 InGaN（蓝光峰值 430nm 或 470nm）与红色（650nm）和绿色（540nm）荧光粉组成三基色白光 LED。

☺ 利用蓝色 ZnSe 为基体制成芯片与衬基发出的黄光复合成白光。

☺ 用 InGaN LED 发出的紫外光激励三基色荧光粉发出白光。

2．单色光 LED 的应用

最初 LED 用作仪器仪表的指示光源，后来各种光色的 LED 在交通信号灯和大面积显示屏中得到了广泛应用，产生了很好的经济效益和社会效益。LED 的应用领域非常广，包括通信、消费性电子、汽车、照明、信号灯等，可大体区分为背光源、照明、电子设备、显示屏、汽车等五大领域。

1）LED 背光源部分 主要是手机背光光源方面，是 SMD 型产品应用的最大市场。LED 作为背光源已普遍运用于手机、电视、计算机、手持/掌上电子产品及汽车、飞机仪表盘等众多领域。LED 为液晶电视的背光源，在色彩饱和度上取得足够宽的色域，达到甚至超过 Adobe RGB 和 NTSC 色彩标准要求。

2）照明部分 LED 照明已逐渐发展至商品化的初步阶段，但在使用寿命及价格上仍有改进空间。LED 照明应用包括建筑装饰、室内装饰、旅游景点装饰等，主要用于重要建筑、街道、商业中心、名胜古迹、桥梁、社区、庭院、草坪、家居、休闲娱乐场所的装饰照明，以及集装饰与广告为一体的商业照明。

3）电子设备部分 LED 以其功耗低、体积小、寿命长的特点，已成为各种电子设备指示灯的首选，目前几乎所有的电子设备都有 LED 的身影。

4）LED 显示屏 LED 显示屏作为一种新兴的显示媒体，随着大规模集成电路和计算机技术的高速发展，得到了飞速发展，以其亮度高、动态影像显示效果好、故障低、能耗少、使用寿命长、显示内容多样、显示方式丰富、性能价格比高等优势，已广泛应用于各行各业。有条幅单双色显示屏、广场楼体表面的全彩显示屏等，适用于休闲广场、繁华商贸中心、广告信息发布牌、商业街、火车站、体育场馆等。

5）汽车部分 主要包括仪表板、音箱等的指示灯，以及汽车外部的第三制动灯、左右尾灯、方向灯等。若再加上前后车灯、制动灯，交通标志灯等，与交通相关的 LED 的市场商机非常庞大。

6）特殊工作照明和军事运用 由于 LED 光源具有抗震性、耐候性、密封性好，以及热辐射低、体积小、便于携带等特点，可广泛应用于防爆、野外作业、矿山、军事行动等特殊工作场所或恶劣工作环境之中。

7）其他应用 LED 还可用于玩具、礼品、手电筒、圣诞灯等轻工产品之中，我国作为全球轻工产品的重要生产基地，对 LED 有着巨大的市场需求。

1.2 LED 芯片的类型

1. LED 芯片介绍

LED 芯片称为 LED 发光芯片，是 LED 灯的核心组件，即 PN 结。其功能是将电能转化为光，芯片的主要材料为单晶硅。LED 芯片是半导体发光器件 LED 的核心部件，它主要由砷（As）、铝（Al）、镓（Ga）、铟（In）、磷（P）、氮（N）、锶（Sr）这几种元素中的若干种组成。

1）芯片按发光亮度分类

- ☺ 一般亮度：R（红色 GaAsP，655nm）、HR（高红 GaP，697nm）、G（绿色 GaP，565nm）、Y（黄色 GaAsP/GaP，585nm）、E（橘色 GaAsP/GaP，635nm）等。
- ☺ 高亮度：VG（较亮绿色 GaP，565nm）、VY（较亮黄色 GaAsP/GaP，585nm）、SR（较亮红色 GaA/AS，660nm）。
- ☺ 超高亮度：UG、UY、UR、UYS、URF、UE 等。

2）芯片按组成元素分类

☺ 二元芯片（磷、镓）：H、G等。

☺ 三元芯片（磷、镓、砷）：SR（较亮红色 GaA/AS，660nm）、HR（超亮红色 GaAlAs，660nm）、UR（最亮红色 GaAlAs，660nm）等。

☺ 四元芯片（磷、铝、镓、铟）：SRF（较亮红色 AlGaInP）、HRF（超亮红色 AlGaInP）、URF（最亮红色 AlGaInP，630nm）、VY（较亮黄色 GaAsP/GaP，585nm）、HY（超亮黄色 AlGaInP，595nm）、UY（最亮黄色 AlGaInP，595nm）、UYS（最亮黄色 AlGaInP，587nm）、UE（最亮橘色 AlGaInP，620nm）、HE（超亮橘色 AlGaInP，620nm）、UG（最亮绿色 AIGaInP，574nm）LED等。

3）按照制作工艺分类

☺ MB（Metal Bonding）芯片：金属粘着芯片，属于 UEC 的专利产品。其特点如下所述。

✧ 采用高散热系数的材料：Si作为衬底，散热容易。

✧ 通过金属层来接合（Wafer Bonding）外延芯层和衬底，同时反射光子，避免衬底的吸收。

✧ 导电的 Si 衬底取代 GaAs 衬底，具备良好的热传导能力（二者的导热系数相差3～4倍），更适应于高驱动电流领域。

✧ 底部金属反射层有利于光度的提升及散热。

✧ 尺寸可加大，应用于大功率领域。

☺ GB（Glue Bonding）芯片：粘着结合芯片，属于UEC的专利产品。其特点如下所述。

✧ 透明的蓝宝石衬底取代吸光的 GaAs 衬底，其出光功率是传统 AS（Absorbable Structure）芯片的2倍以上，蓝宝石衬底类似TS芯片的GaP衬底。

✧ 芯片四面发光，具有出色的花样图。

✧ 亮度方面，其整体亮度已超过TS芯片的水平（8.6mil）。

✧ 双电极结构，其耐高电流方面要稍差于TS单电极芯片。

☺ TS（Transparent Structure）芯片：透明衬底芯片，属于HP的专利产品。其特点如下所述。

✧ 芯片工艺制作复杂，远高于AS LED。

✧ 信赖性卓越。

✧ 透明的GaP衬底，不吸收光，亮度高。

✧ 应用广泛。

☺ AS（Absorbable Structure）芯片：吸收衬底芯片，这里特指UEC的AS芯片。其特点如下所述。

✧ 四元芯片，采用MOVPE工艺制备，亮度相对于常规芯片要亮。

✧ 信赖性优良。

✧ 应用广泛。

4）LED芯片构成材料及制造方法 见表1-2。

表 1-2　LED 芯片构成材料及制造方法

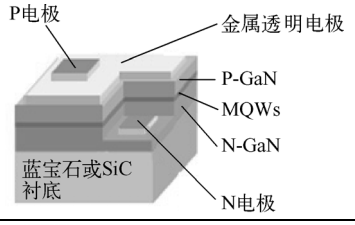
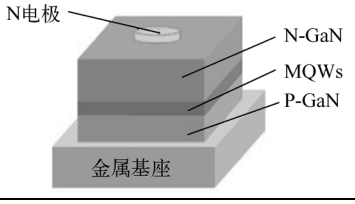
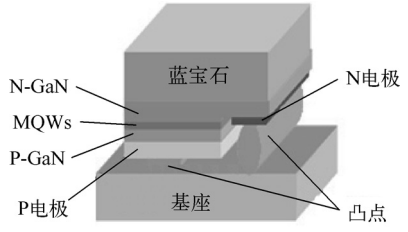
序　号	复 合 材 料	基　座	制 作 方 法	备　注
1	GaP	GaP	液相外延（LPE）	磷化镓
2	GaAsP	GaP	气相外延（VPE）	磷化砷镓
3	AlGaAs	GaAs	液相外延（LPE）	砷化镓
		AlGaAs		砷化铝镓
4	AlGaInP 磷化铝镓铟	GaAs	有机金属气相外延（MOVPE）	吸收基座
		GaP		透明基座
5	InGaN 氮化铟镓	Sapphire	有机金属气相外延（MOVPE）	透明基座
		SiC（碳化硅）		吸收基座



所谓“外延生长”，就是在高真空条件下，采用分子束外延（MBE）、液相外延（LPE）、金属有机化学气相沉积（Metal-Organic Chemical Vapor DePosition，MOCVD）等方法，在晶体衬底上，按照某一特定晶面生长的单晶薄膜的制备过程。半导体外延生长主要采用 MBE 和 MOCVD 工艺。MOCVD 是在 LED 外延生长（VPE）的基础上发展起来的一种新型气相外延生长技术。

5）生产芯片技术　见表 1-3。

表 1-3　生产芯片技术

序　号	技 术 路 线	示　意　图	代 表 公 司
1	传统正装 LED		日本日亚化工 中国台湾晶元
2	垂直结构 LED		美国科锐（Cree） 中国台湾旭明
3	倒装 LED		飞利浦流明（Philips Lumileds）



目前市面上一般有 3 种材料可作为衬底，即蓝宝石（Al_2O_3）、硅（Si）、碳化硅（SiC），除了以上 3 种常用的衬底材料之外，还有 GaAs、AlN、ZnO 等材料。

美国科锐公司专门采用 SiC 材料作为衬底。衬底材料对比如表 1-4 所示。

表 1-4　衬底材料对比

序号	衬底材料	导热系数/（W/m・K）	膨胀系数/（$\times10^{-6}$）	导热性	抗静电能力（ESD）	稳定性	成　本
1	蓝宝石	46	1.9	差	一般	一般	中
2	硅	159	5～20	好	好	良好	底
3	碳化硅	490	-1.4	好	好	良好	高

目前，全球 LED 产业已形成以美国、亚洲、欧洲三大区域为主导的三足鼎立的产业分布与竞争格局。美国科锐、飞利浦流明，日本日亚化工（Nichia）、丰田合成（Toyoda Gosei），德国欧司朗（Osram）等公司垄断了 LED 高端产品市场。MOVCD 设备的主要生产厂商为美国 Veeco 公司和德国 Aixtron 公司两家。

2．LED 的分类

1）按 LED 发光颜色分类　可分成红色、橙色、绿色（又细分为黄绿、标准绿和纯绿）、蓝色等。另外，有的 LED 中包含两种或 3 种颜色的芯片。LED 还可分为普通单色、高亮度、超高亮度、变色、闪烁、电压控制型、红外等 LED。

根据 LED 发光处掺或不掺散射剂、有色或无色，上述各种颜色的 LED 还可分成有色透明、无色透明、有色散射和无色散射 4 种类型。散射型 LED 用作指示灯。

2）按发光管出光面特征分　可分为圆灯、方灯、矩形、面发光管、侧向管、表面安装用微型管等。圆形灯按直径分为ϕ2mm、ϕ4.4mm、ϕ5mm、ϕ8mm、ϕ10mm 及ϕ20mm 等。国外通常把ϕ3mm 的 LED 记作 T-1，把ϕ5mm 的记作 T-1（3/4），把ϕ4.4mm 的记作 T-1（1/4）。

由半值角大小可以估计圆形发光强度角的分布情况。从发光强度角分布图来分有 3 类。

☺ 高指向性：一般为尖头环氧封装或是带金属反射腔封装，且不加散射剂。半值角为 5°～20°或更小，具有很高的指向性，可用作局部照明光源，或与光检出器联用以组成自动检测系统。

☺ 标准型：通常用作指示灯，其半值角为 20°～45°。

☺ 散射型：视角较大的指示灯，半值角为 45°～90°或更大，散射剂的量较大。

3）按 LED 的结构分　有全环氧包封、金属底座环氧封装、陶瓷底座环氧封装及玻璃封装等结构。

4）按发光强度和工作电流分　有普通亮度的 LED（发光强度＜10mcd）、超高亮度的 LED（发光强度＞100mcd）和高亮度 LED（TOP LED，目前常用），其发光强度在 10～100mcd。

一般 LED 的工作电流在十几毫安至几十毫安，而低电流 LED 的工作电流在 2mA 以下（其亮度与普通发光管相同）。

除上述分类方法外，还有按芯片材料分类及按功能分类的方法。

1.3 LED 光参数定义及其详解

1.3.1 可见光谱

光是一定波长范围内的一种电磁辐射。电磁辐射的波长范围很广，最短的如宇宙射线，其波长只有 10^{-14}～10^{-15}m，最长的如无线电波，其波长可达数千千米。在电磁辐射范围内，只有波长为 380～780nm 的电磁辐射能够引起人的视觉，这段波长叫作可见光谱，如图 1-8 所示。电磁波谱波长区域如表 1-5 所示。

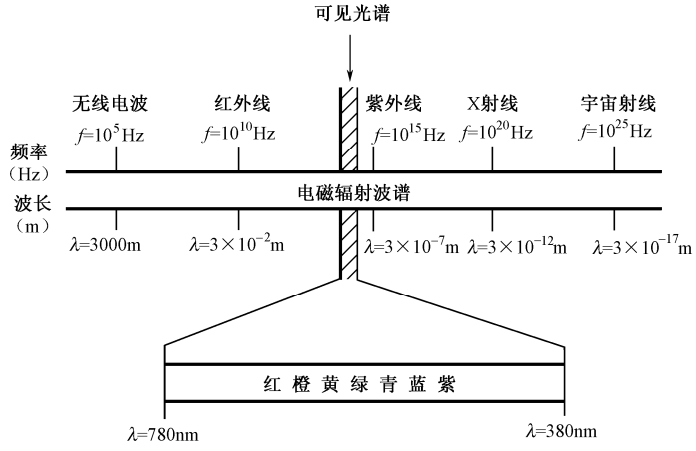


图 1-8 电磁辐射波谱

表 1-5 电磁波谱波长区域

电磁波谱种类	波 长 范 围			
	nm	μm	cm	m
长波振荡				$>10^5$
无线电波				$1～10^5$
微波			$10^{-1}～10^2$	
红外线		$0.77～10^3$		
可见光	380～770			
紫外线	10～390			
X 射线	$10^{-3}～50$			
γ射线	$10^{-5}～10^{-1}$			
宇宙射线	$<10^{-5}$			
*1m=10^2cm=10^6μm=10^9nm				

图 1-8 中所标数值均以基本单位表示，即频率的单位为赫兹（Hz），波长的单位为米

（m）。由于使用上述单位时波长的数值太大，有必要使用更小的单位来度量可见光谱的波长，由此采用了标准毫微米（又称纳米，符号为 nm），1nm=10^{-9}m。人眼能起视觉反应的最长和最短波长分别为 780nm 和 380nm，它们分别处在光谱的红色端与紫色端。

在光度学中对于“光”的定义，是相对于可见光而言的，它所具有的波长范围为 380～780nm。表 1-6 列出了不同色觉的波长范围。所以，LED 光的颜色与进入人眼的光辐射的相对光谱能量分布有关，当进入到眼睛的光谱辐射波长发生改变或者它们的相对光谱能量分布发生改变时，人眼对光的颜色感受也随着发生变化。普通单色 LED 的发光颜色与发光的波长有关，而发光的波长又取决于制造 LED 所用的半导体材料。

表 1-6　各种颜色光线的波长

序　　号	光　　色	波长（nm）	代表波长（nm）
1	红（Red）	780～630	700
2	橙（Orange）	630～600	620
3	黄（Yellow）	600～570	580
4	绿（Green）	570～500	550
5	青（Cyan）	500～470	500
6	蓝（Blue）	470～420	470
7	紫（Violet）	420～380	420

1.3.2　LED 发光器件光度学参数的测量

1．LED 光学参数介绍

LED 的光学参数中重要的几个是光通量、发光效率、发光强度、光强分布曲线和波长。

1）发光效率和光通量　发光效率就是光通量与电功率之比。发光效率表征了光源的节能特性，这是衡量现代光源性能的一个重要指标。光通量是指人眼所能感觉到的辐射功率，它等于单位时间内某一波段的辐射能量和该波段的相对视见率的乘积。

2）发光强度和光强分布曲线　LED 发光强度表征它在某个方向上的发光强弱。发光强度通常是指法线（对圆柱形发光管是指其轴线）方向上的发光强度。若在该方向上辐射强度为（1/683）W/sr（瓦特/球面度），则其发光强度为 1cd（坎德拉）。发光强度常用 mcd 作为单位。光强分布曲线是指 LED 光源的配光曲线，说明光源本身的发光特性和不同发光角的光强大小分布。

3）波长　波长是指不同颜色 LED 发出光波的波长。对于 LED 的光谱特性我们主要看其单色性是否优良，而且要注意到红、黄、蓝、绿、白色 LED 等主要的颜色是否纯正。

2．光度学与辐射度学参数

1）光通量$\boldsymbol{\Phi}_{\mathrm{v}}$（Luminous Flux）　通过 LED 的正向电流为规定值时，器件光学窗口发射的光通量。

2）发光强度 $\boldsymbol{I}_{\mathrm{v}}$（Luminous Intensity）　光源在单位立体角内发射的光通量，可表示为 $I_{\mathrm{v}}=\mathrm{d}\Phi/\mathrm{d}\Omega$。

3）相对光谱能量（功率）分布 $P(\lambda)$（Relative Spectral Distributions） 在光辐射波长范围内，各个波长的辐射能量分布情况。

4）峰值发射波长 λ_p（Peak-emission Wavelength） 光谱辐射功率最大的值所对应的波长。

5）光谱半波宽 $\Delta\lambda$（Full Width Half Maximum，FWHM） 峰值发射波长辐射功率的 1/2 所对应两波长的间隔。

1.3.3 LED 光通量

光通量指人眼所能感觉到的辐射功率，它等于单位时间内某一波段的辐射能量和该波段的相对视见率的乘积。由于人眼对不同波长光的相对视见率不同，所以不同波长光的辐射功率相等时，其光通量并不相等。

在辐射度学上，LED 辐射通量 Φ_E 用来衡量 LED 在单位时间内发射的总的电磁功率，单位是瓦（W）。它通常表示 LED 在空间 4π范围内，每秒钟所发出的功率。LED 光源发射的辐射通量中能引起人眼视觉的那部分，称为光通量 Φ_V，单位是流明（lm），与辐射通量的概念类似，它是 LED 光源向整个空间在单位时间内发射的能引起人眼视觉的辐射通量。但要考虑人眼对不同波长的可见光的光感觉是不同的，国际照明委员会（CIE）为人眼对不同波长单色光的灵敏度做了总结，在明视觉条件（亮度为 3cd/m^2 以上）下，归结出人眼标准光度观测者光谱光效率函数 $V(\lambda)$，它在 555nm 上有最大值，此时 1W 辐射通量等于 683lm，如图 1-9 所示，其中 $V'(\lambda)$为暗视觉条件（亮度为 0.001cd/m^2 以下）下的光谱光视效率。

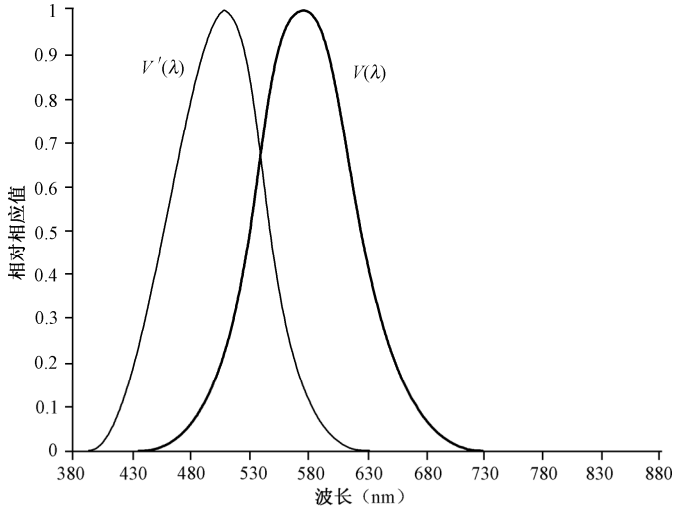


图 1-9 明视觉和暗视觉条件下的光谱光效率函数

明视觉条件下，辐射量向光通量的转化表达式可以表示为

$$\Phi_V = 683\int_{380}^{780} \Phi_E(\lambda)V(\lambda)\mathrm{d}\lambda \tag{1-2}$$

暗视觉条件下，辐射量向光通量的转化表达式可以表示为

$$\Phi_V = 1700\int_{380}^{780} \Phi_E(\lambda)V'(\lambda)\mathrm{d}\lambda \tag{1-3}$$

通常的测量以明视觉条件作为测量条件，并且在对 LED 进行测量时，为了得到准确的测量结果，必须把 LED 发射的光辐射功率收集起来，并用合适的探测器（应具有 CIE 标准光度观测者光谱光效率函数的光谱响应）将它线性地转换成光电流，再通过定标确定被测量的大小。

1.3.4 LED 发光强度

发光强度简称光强，国际单位是 candela（坎德拉），简写为 cd，其他单位有烛光、支光。1cd 是指单色光源（频率 540×10^{12}Hz，波长 0.550μm）的光，在给定方向上（该方向上的辐射强度为（1/683）W/sr）的单位立体角内发出的发光强度（球面度是一个立体角，其定点位于球心，而在球面上所截取的面积等于以球的半径为边长的正方形面积）。光源辐射均匀时，则光强为 $I=F/\Omega$，其中Ω为立体角，单位为 sr（球面度）；F 为光通量，单位是 lm。对于点光源，$I=F/4$。

发光强度是针对点光源而言的，或者发光体的大小与照射距离相比比较小的场合。

发光强度是表明发光体在空间辐射的汇聚能力的。可以说，发光强度就是描述了光源到底有多亮。

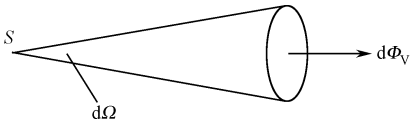


图 1-10　点光源的发光强度

发光强度的概念要求光源是一个点光源，或者要求光源的尺寸和探测器的面积与离光探测器的距离相比足够小，表示为 $I_V=\mathrm{d}\Phi_V/\mathrm{d}\Omega$，式中 $\mathrm{d}\Omega$是点光源在某一方向上所张的立体角，如图 1-10 所示。

但是在 LED 测量的许多实际应用场合中，往往是测量距离不够长，光源的尺寸相对太大，或者是 LED 与探测器表面构成的立体角太大。在这种近场条件下，并不能很好地保证距离平方反比定律，实际发光强度的测量值随上述几个因素的不同而不同，从而严格地说并不能测量得到真正的 LED 的发光强度。

为了解决这个问题，使测量结果可通用比较，CIE 推荐使用“平均发光强度”的概念：照射在离 LED 一定距离处的光探测器上的光通量Φ_V与由探测器构成的立体角的比值。其中立体角可将探测器的面积 S 除以测量距离 d 的平方计算得到，因而有如下表达式：

$$I=\frac{\Phi_V}{\Omega}=\frac{\Phi_V}{S/d^2} \tag{1-4}$$

从物理上看，这里的平均发光强度的概念，不再与发光强度的概念关联得那么紧密，而更多地与光通量的测量和测量机构的设计有关。CIE 关于近场条件下的 LED 测量，有两个推荐的标准条件：CIE 标准条件 A 和 CIE 标准条件 B（见表 1-7）。这两个条件都要求所用的探测器有一个面积为 $1\mathrm{cm}^2$（相应直径为 11.3mm）的圆入射孔径。

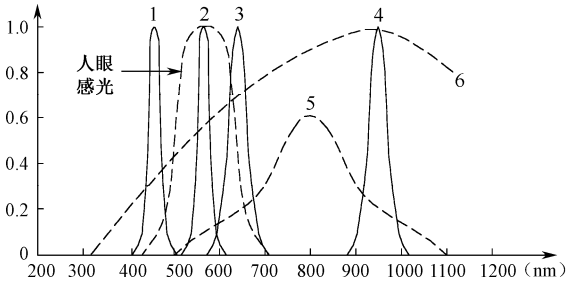
表 1-7　CIE 推荐的近场标准条件

CIE 推荐	LED 顶端到探测器的距离 d	立　体　角	平面角（全角）
标准条件 A	316mm	0.001sr	2°
标准条件 B	100mm	0.01sr	6.5°

1.3.5 LED 相对光谱能量分布 $P(\lambda)$

LED 的相对光谱能量分布 $P(\lambda)$表示在 LED 的光辐射波长范围内，各个波长的辐射能量的分布情况，通常在实际场合中用相对光谱能量分布来表示。

一般而言，LED 发出的光辐射往往由许多不同波长的光所组成，而且不同波长的光在其中所占的比例也不同。LED 辐射能量随着波长变化而不同，因此可绘成一条分布曲线——相对光谱能量分布曲线。当此曲线确定之后，器件的有关主波长、纯度等相关色度学参数也随之而定。LED 的光谱分布与制备所用化合物半导体种类、性质及 PN 结结构（外延层厚度、掺杂杂质）等有关，而与器件的几何形状、封装方式无关。图 1-11 绘出几种由不同化合物半导体及掺杂制得的 LED 光谱响应曲线。



1—蓝色LED（InGaN/GaN），发光谱峰λ_p=460～465nm；
2—绿色LED，发光谱峰λ_p=550nm；
3—红色LED，发光谱峰λ_p=680～700nm；
4—红外LED，发光谱峰λ_p=910nm；
5—硅光电二极管（通常用于光电接收）；
6—标准钨丝灯

图 1-11　LED 光谱响应曲线

1.3.6 LED 的峰值波长λ_p和光谱半波宽$\Delta\lambda$

LED 相对光谱能量分布曲线的重要参数用峰值波长λ_p 和光谱半波宽$\Delta\lambda$这两个参数表示。无论什么材料制成的 LED，都有一个相对光辐射最强处，与之相对应有一个波长，此波长为峰值波长，它由半导体材料的带隙宽度或发光中心的能级位置决定。光谱半波宽$\Delta\lambda$定义为相对光谱能量分布曲线上，两个半极大值强度处对应的波长差，如图 1-12 所示。它在标志着光谱纯度的同时，也可以用来衡量半导体材料中对发光有贡献的能量状态离散度，LED 的发光光谱的半波宽一般为 30～100nm，光谱宽度窄意味着单色性好，发光颜色鲜明，清晰可见。

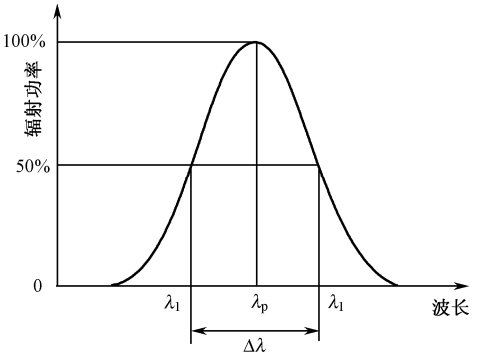


图 1-12　光谱半波宽$\Delta\lambda$

1.4 LED外延片简介

外延生长的基本原理是，在一块加热至适当温度的衬底基片（主要有蓝宝石和 SiC、Si）上，气态物质 In、Ga、Al、P 有控制地输送到衬底表面，生长出特定单晶薄膜。目前LED外延片生长技术主要采用金属有机物化学气相沉积方法。

LED 外延片衬底材料是半导体照明产业技术发展的基石。不同的衬底材料，需要不同的 LED 外延片生长技术、芯片加工技术和器件封装技术，衬底材料决定了半导体照明技术的发展路线。

LED外延片衬底材料选择原则如下。

☺ 结构特性好：外延材料与衬底的晶体结构相同或相近，晶格常数失配度小，结晶性能好，缺陷密度小。

☺ 界面特性好：有利于外延材料成核且黏附性强。

☺ 化学稳定性好：在外延生长的温度和气氛中不容易分解和腐蚀。

☺ 热学性能好：包括导热性好和热失配度小。

☺ 导电性好：能制成上下结构。

☺ 光学性能好：制作的器件所发出的光被衬底吸收少。

☺ 机械性能好：器件容易加工，包括减薄、抛光和切割等。

☺ 价格低廉。

☺ 大尺寸：一般要求直径不小于2英寸。

☺ 容易得到规则形状衬底（除非有其他特殊要求），只有与外延设备托盘孔相似的衬底形状才不容易形成不规则涡流，以至于影响外延质量。

☺ 在不影响外延质量的前提下，衬底的可加工性尽量满足后续芯片和封装加工工艺要求。

衬底的选择要同时满足以上 11 个方面是非常困难的。所以，目前只能通过外延生长技术的变更和器件加工工艺的调整来适应不同衬底上的半导体发光器件的研发和生产。

1．红黄光LED

红黄光LED以GaP（二元系）、AlGaAs（三元系）和AlGaInP（四元系）为主，主要采用GaP和GaAs作为衬底，未产业化的还有蓝宝石 Al_2O_3 和硅衬底。

1）GaAs 衬底 在使用 LPE 生长红光 LED 时，一般使用 AlGaAs 外延层；而使用MOCVD生长红黄光LED时，一般生长AlGaInP外延结构。外延层生长在GaAs衬底上，由于晶格匹配，容易生长出较好的材料，其缺点是吸收光子，所以通常使用布拉格反射镜或晶片键合技术。

2）GaP 衬底 在使用 LPE 生长红黄光 LED 时，一般使用 GaP 外延层，其波长范围较宽（565～700nm）；使用 VPE 生长红黄光 LED 时，生长 GaAsP 外延层，波长在 630～650nm 之间；而使用 MOCVD 时，一般生长 AlGaInP 外延结构，这个结构很好地解决了GaAs衬底吸光的缺点，直接将LED结构生长在透明衬底上，但缺点是晶格失配，需要利用

缓冲层来生长 InGaP 和 AlGaInP 结构。另外，GaP 基的 III-N-V 结构不但可以改变带宽，还可以在只加入 0.5%氮的情况下，带隙的变化从间接到直接，并在红光区域具有很强的发光效应（650nm）。采用这样的结构制造 LED，可以由 GaNP 晶格匹配的异质结构，通过一步外延形成 LED 结构，并省去 GaAs 衬底去除和晶片键合透明衬底的复杂工艺。

2．蓝绿光 LED

用于氮化镓研究的衬底材料比较多，但是能用于生产的衬底目前只有两种，即蓝宝石（Al_2O_3）和碳化硅（SiC）衬底。

1）氮化镓衬底 用于氮化镓生长的最理想的衬底自然是氮化镓单晶材料，这样可以大大提高外延片膜的晶体品质，降低位元错密度，延长器件工作寿命，提高发光效率及器件工作电流密度。可是，制备氮化镓体单晶材料非常困难，到目前为止尚未有行之有效的办法。有研究人员通过 HVPE 方法在其他衬底（如 Al2O3、SiC、LGO）上生长氮化镓厚膜，然后通过剥离技术实现衬底和氮化镓厚膜的分离，分离后的氮化镓厚膜可作为外延用的衬底。氮化镓厚膜的优点非常明显，即以它为衬底外延的氮化镓薄膜的位元错密度，比在 Al2O3、SiC 上外延的氮化镓薄膜的位元错密度明显要低，但价格昂贵。因而氮化镓厚膜作为半导体照明的衬底之用受到限制。

2）蓝宝石衬底 目前用于氮化镓生长的最普遍的衬底是 Al2O3，其优点是化学稳定性好，不吸收可见光，价格适中，制造技术相对成熟。但其导热性差，在功率型器件大电流工作时不宜采用。



图形化蓝宝石衬底（Patterned Sapphire Substrate，PSS），在蓝宝石衬底上生长干法刻蚀用掩模，用标准的光刻工艺将掩模刻出图形。PSS 衬底上生长的 LED 亮度比传统 LED 大大提高，其反向漏电流减小，LED 寿命延长，价格比普通蓝宝石衬底高。

3）SiC 衬底 除 Al_2O_3 衬底外，目前用于氮化镓生长的衬底就是 SiC，市场占有率位居第二。SiC 有许多突出的优点，如化学稳定性好，导电性能好，导热性能好，不吸收可见光等，但不足方面也很突出，如价格太高，晶体品质难以达到 Al_2O_3 和 Si 的水平，机械加工性能比较差。另外，SiC 衬底吸收 380nm 以下的紫外光，不适合用来研发 380nm 以下的紫外 LED。由于 SiC 衬底优异的导电性能和导热性能，不需要像 Al_2O_3 衬底上功率型氮化镓 LED 器件采用倒装焊技术解决散热问题，而是采用上下电极结构。

4）Si 衬底 在硅衬底上制备发光二极体是本领域中梦寐以求的一件事情，因为外延片生长成本和器件加工成本将大幅度下降。Si 片作为 GaN 材料的衬底有许多优点，如晶体品质高，尺寸大，成本低，易加工，具有良好的导电性、导热性和热稳定性等。然而，由于 GaN 外延层与 Si 衬底之间存在巨大的晶格失配和热失配，以及在 GaN 的生长过程中容易形成非晶氮化硅，所以在 Si 衬底上很难得到无龟裂及器件级品质的 GaN 材料。另外，由于硅衬底对光的吸收严重，LED 出光效率低。

5）ZnO 衬底 ZnO 可作为 GaN 外延片的候选衬底，因为它们两者具有惊人的相似之

处。ZnO 作为 GaN 外延衬底的致命弱点是在 GaN 外延生长的温度和气氛中容易分解和被腐蚀。ZnO 本身是一种有潜力的发光材料。ZnO 的禁带宽度为 3.37eV，属直接带隙，和 GaN、SiC、金刚石等宽禁带半导体材料相比，它在 380nm 附近紫光波段发展潜力最大，是高效紫光发光器件、低阈值紫光半导体雷射器的候选材料。ZnO 材料的生长非常安全，可以采用没有任何毒性的水为氧源，用有机金属锌为锌源。

6）ZnSe 衬底 有人使用 MBE 在 ZnSe 衬底上生长 ZnCdSe/ZnSe 等材料，用于蓝光和绿光 LED 器件。但是其并没有推广，因为发光效率较低，而且由于自补偿效应的影响，使得其性能不稳定，器件寿命较短。

3．LED 外延片生产商简介

1）日亚化工（http://www.nichia.co.jp） 日本日亚化工（Nichia Corporation）是 GaN 系的开拓者，在 LED 和激光领域居世界首位，在蓝色、白色 LED 市场遥遥领先于其他同类企业。它以蓝色 LED 的开发而闻名于全球，与此同时，它又是以荧光粉为主要产品的规模最大的精细化工厂商。其荧光粉生产在日本国内市场占据 70%的比例，在全球则占据 36%的市场份额。荧光粉除了灯具专用的以外，还有 CRT 专用、PDP 专用、X 光专用等类型，这成为日亚化工扩大 LED 事业的坚实基础。除此以外，日亚化工还生产磁性材料、电池材料及薄膜材料等精细化工制品，广泛地涉足于光的各个领域。

在该公司 LED 的生产当中，70%是白色 LED，主要有单色芯片型和 RGB 三色型两大类型。此外，该公司是世界上唯一一家可以同时量产蓝色 LED 和紫外线 LED 两种产品的厂商。以此为基础，日亚化工不断开发新产品，特别是在 SMD（表面封装）型的高能 LED 方面，新品层出不穷。

目前日亚化工上市了发光中心波长从 365～385nm 不等的紫外 LED 品种，主要应用在生物医疗、防伪鉴定、净化（水、空气等）领域、计算机数据存储和军事等。

2）丰田合成（http://www.toyoda-gosei.com） 1986 年，受名誉教授赤崎先生的委托，丰田合成（Toyoda Gosei）利用自身在汽车零部件薄膜技术方面的积累，开始展开 LED 方面的研发工作。1987 年，受科学技术振兴事业团的开发委托，丰田合成成功地在蓝宝石上形成了 LED 电极。因此，把丰田合成誉为“蓝色 LED 的先锋”并不为过。

为了攻夺日亚化工占据手机背光市场 90%的市场份额，丰田合成意图提高白色 LED 的光亮度，于 2004 年秋季开发出光亮度为 1000mcd 级的白色 LED“TG WHITE Ⅱ”，这比原来的 600～700mcd 亮了很多。紧接着，丰田合成又开始开发 1300mcd 的白色 LED。

此外，汽车导航系统和计算机专用液晶控制器、TV 专用大型液晶的背光等也是丰田合成的目标市场。照明应用方面的设计开发也正在紧锣密鼓地进行着。

3）飞利浦流明（http://www.philipslumileds.com） 飞利浦照明（Philips Lumileds）是世界著名的 LED 生产商，在包括自动照明、计算机显示、液晶电视、信号灯及通用照明在内的固态照明应用领域中居领先地位。获得专利的 Luxeon 是首次将传统照明与具有小针脚、长寿命等优点的 LED 相结合的高功率发光材料。它也提供核心 LED 材料和 LED 封装产品，每年 LED 的产品达数十亿只，是世界上最亮的红光、琥珀光、蓝光、绿光和白光 LED 生产商。公司总部在加利福尼亚州的圣何塞，在荷兰、日本和马来西亚有分支机构，

并且拥有遍及全球各地的销售网络。

4）Lumination（http://www.lumination.com） GELcore 是 GE 照明与 EMCORE 公司的合资公司，创建于 1999 年 1 月，总部位于美国新泽西州。公司致力于高亮度 LED 产品的研发和生产。通过把 GE 先进的照明技术、品牌优势和全球渠道与 EMCORE 权威的半导体技术相结合，GELcore 已经在转变人们对照明的认识过程中扮演了重要的角色。GELcore 现有的产品包括大功率 LED 交通信号灯、大型景观灯及其他建筑、消费和特殊照明应用等。通过把电子、光学、机械和热能管理等各个领域的技术相结合，GELcore 加快了 LED 技术的应用并创造了世界级的 LED 系统。另外，GELcore 还利用独特的客户管理系统来与那些 LED 专家和产品应用客户保持长期的友好关系。

2007 年 2 月 7 日，GELcore 更名为 Lumination。GE 在 2006 年 8 月末以现金 1 亿美元购买 Emcore 所持的 GELcore 股份，将 GELcore 变为其全资子公司，从那时起，GELcore 一直努力表现得与以往不同，并与日亚化工形成战略联盟。为进一步表明公司对通用 LED 照明的倚重，GELcore 将名字改为 Lumination。

5）大洋日酸（http://stableisotope.sanso.co.jp） 大洋日酸公司（Taiyo Nippon Sanso）的有机金属气相化学沉积技术的研究和开发可以追溯到 1983 年，在日本当时整个化合物半导体工业革命的大背景之下产生。大洋日酸研发了一系列高纯度气体，如 AsH_3、PH_3 和 NH_3 的专业应用技术，以及用于生产 LD 和 LED 产品的 MOVPE 设备。大洋日酸还开发了用于吸收这些应用产生的大量废气的净化系统，并使之商品化。到目前为止，大洋日酸已经为从研发机构到生产厂商等有着不同需求的客户提供了超过 450 台的 MOCVD 设备。其中大洋日酸的 GaN-MOCVD SR 系列，包括 SR-2000 和 SR-6000 是专门为蓝色镓氮 LED、半导体激光和电子设备的研究和生产而设计的。

6）科锐（http://www.cree.com/cn/） 科锐（Cree）公司建于 1987 年，位于美国加利福尼亚州，研制开发并生产基于碳化硅（SiC）、氮化镓（GaN）、硅（Si）和相关化合物的材料与设备。其产品包括绿光、蓝光和紫外光 LED，近紫外激光、射频和微波半导体设备，电源转换设备和半导体集成芯片。这些产品的目标应用包括固态照明、光学存储、无线基础和电路转换等。公司的大部分利润来自于 LED 产品和 SiC、GaN 材料的生产，产品销往北美、欧洲和亚洲。

目前科锐的 460nm LED 的外部量子效率为 47%，白色发光效率为 100lm/W。

7）欧司朗（http://www.osram-os.com） 欧司朗（Osram）是全世界最大的两个照明生厂商之一，建于 1919 年，总部位于慕尼黑。Osram 商标早在 1906 年注册，到目前为止是世界公认的历史最悠久的商标名称之一。Osram 已经从一个传统的灯泡厂商发展成为一个照明领域的高科技公司。

8）首尔半导体（http://www.acriche.com） 首尔半导体是韩国最大的 LED 环保照明技术生产商，并且是全球八大生产商之一。首尔半导体的主要业务是生产全线 LED 组装及定制模块产品，包括采用交流电驱动的半导体光源产品，如 Acriche、侧光 LED、顶光 LED、切片 LED、插件 LED 及食人鱼（超强光）LED 等。其产品已广泛应用于一般照明、显示屏照明、移动电话背光源、电视、手提电脑、汽车照明、家居用品及交通信号等。

说明

中国台湾地区有华上、新世纪、光磊、晶元、广稼、璨圆等生产商。

1.5 LED 封装工艺流程和发展

1. LED 的结构

常规 LED 的封装形式主要有直插式 DIP LED、表面贴装式 SMD LED、食人鱼 Piranha LED 与集成化封装。功率型 LED 是未来半导体照明的核心。

环氧树脂封装（DIP LED 封装）如图 1-13 所示。

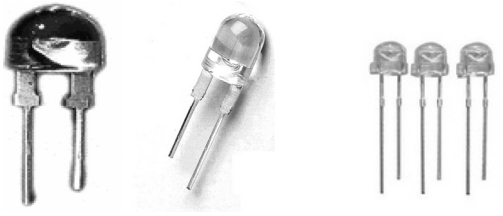


图 1-13　DIP LED 封装

仿食人鱼式环氧树脂封装如图 1-14 所示。目前食人鱼 LED 已经不太常见。

COB 封装如图 1-15 所示。COB 封装 LED 是目前的主流产品，功率范围为 3～80W，显色指数可以达到 Ra≥95。

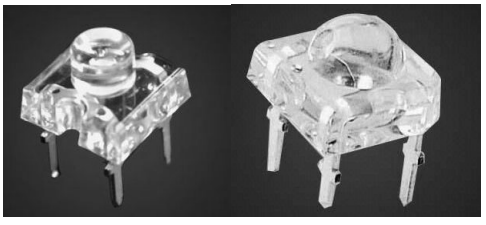


图 1-14　仿食人鱼式环氧树脂封装

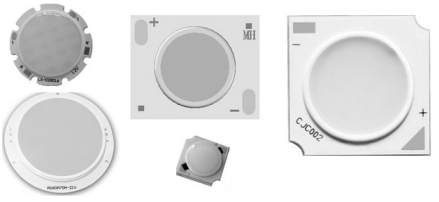


图 1-15　COB 封装

说明

☺ COB 封装即 Chip on Board，是将裸芯片用导电或非导电胶黏附在互连基板上，然后进行引线键合实现其电气连接。COB 基板不外乎蓝宝石基板、硅基板、铜/铝基板、氮化铝、三氧化二铝来作为载板。

☺ LED 面光源适用于天花灯、筒灯、工矿灯、日光灯、球泡灯等各类灯具。LED 面光源有圆形、圆环形、方形、长条形、三角形等。

集成大功率封装如图 1-16 所示。

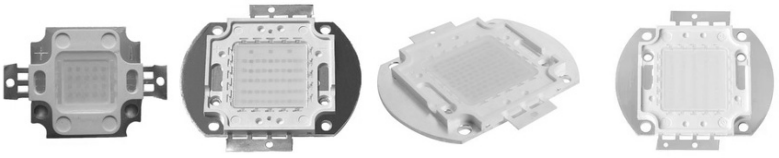


图 1-16　集成大功率封装

功率型 SMD 封装如图 1-17 所示。



图 1-17　功率型 SMD 封装

大功率 LED 封装如图 1-18 所示。



图 1-18　大功率 LED 封装

MCPCB 集成化封装如图 1-19 所示。

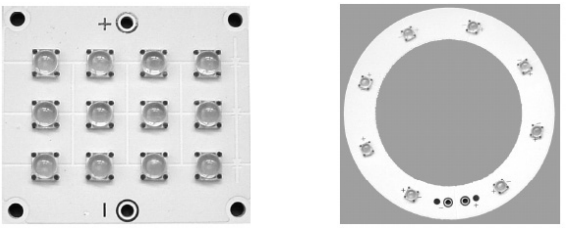


图 1-19　MCPCB 集成化封装

2．LED 封装工艺流程

LED 的核心是芯片，其基本光电特性主要取决于芯片；同时，封装对 LED 的最终性能也起着至关重要的作用。LED 封装就是将芯片与电极引线、管座和透镜等组件通过一定的工艺技术结合在一起，使之成为可直接使用的发光器件的过程。LED 封装的一般工艺流程如图 1-20 所示。

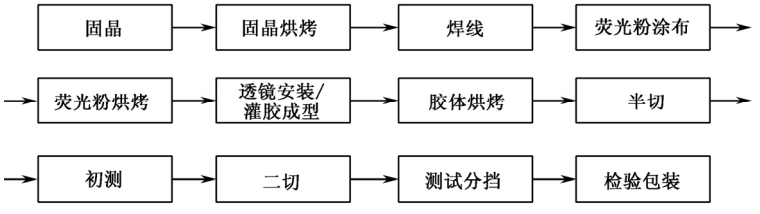


图 1-20　LED 封装的一般工艺流程（以白光 LED 为例）

3．LED 封装的发展过程

随着芯片性能、发光颜色、外形尺寸和安装方式的不断更新进步，以及应用需求的不断增加，LED 的封装技术也在不断推陈出新，如图 1-21 所示。

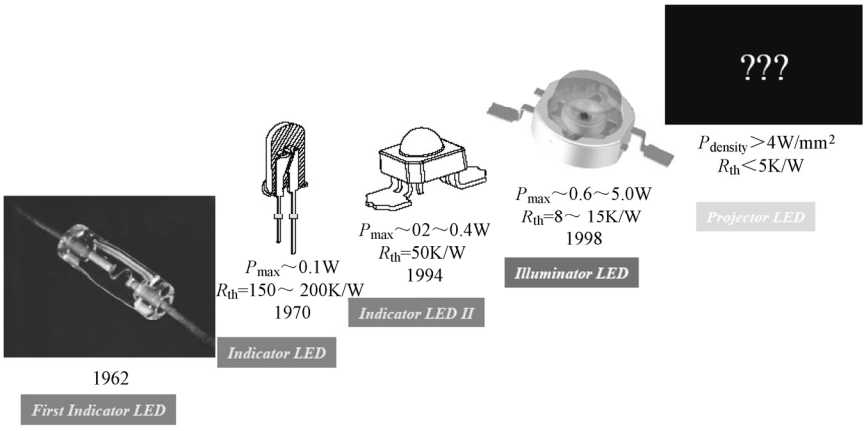


图 1-21　LED 封装的发展过程

1.6　LED 的基本特性与使用注意事项

1.6.1　常见的 LED 电性能参数

1．LED 的正向电压

不同颜色的 LED 在额定的正向电流条件下，有着各自不同的正向压降值。

☺ 红色、黄色：1.8～2.5V;

☺ 绿色、蓝色、白色：2.8～3.6V。

对于同种颜色的小功率 LED，其正向压降和光强也不是完全一致的，如表 1-8 所示。

表 1-8　不同颜色的小功率 LED 的参数

序号	发光颜色	外观颜色	波长λ_D（nm）	正向电压 V_F（V）	亮度 I_v（mcd）	备　注
1	红色	水透明	645～660	1.8～2.5	50～300	I_F=20mA
2	红色	水透明	645～660	1.8～2.5	50～300	I_F=20mA
3	黄绿色	水透明	570～575	1.8～2.5	50～300	I_F=20mA
4	黄色	水透明	585～590	1.8～2.5	500～5000	I_F=20mA
5	蓝色	水透明	455～475	2.8～3.6	500～7000	I_F=20mA
6	绿色	水透明	515～535	2.8～3.6	2000～10000	I_F=20mA
7	白色	水透明	—	2.8～3.6	3000～15000	I_F=20mA

在同一电路中，应该尽量使用在额定电流条件下正向压降值相同、光强范围小的 LED，只有这样才能保证 LED 的发光效果一致。其具体的电性能参数可依据各封装厂每个

包装提供的产品分光参数标签值（有些公司每批分光分色的分选都不一致）。

2．LED 的额定电流

LED 的额定电流各不相同，普通小功率 LED 的额定电流一般为 20mA，中功率 LED 的额定电流一般为 60mA 或 150mA 不等。大功率 LED 的额定电流一般为 350mA 或 700mA 不等。一般 LED 在反向电压 V_R=5V 的条件下，反向电流 I_R≤10μA。



- ☺ 在使用 LED 的过程中出现严重色差时，要查明是否有多包同时混用的现象，不同包混用可能造成 LED 出现色差。
- ☺ 检验 LED 时电流大小必须与承认书规格一致，因为电流值存在差异会直接影响发光效果。
- ☺ 不同挡位的 LED（BIN）不可混用，以保证颜色、亮度的一致性。
- ☺ LED 的工作电流会对其可靠性产生长期的影响，工作时测试其结温是否会超过最大结温（T_j），必须测量 LED 电流（I_F）、电压（V_F）及 LED 封装引脚温度（T_c），同时必须考虑环境温度及散热器与环境空气之间的热阻，必须采取热管理手段进行散热。
- ☺ 白光 LED 光源热阻是指正常工作时，LED 引脚到结温点的热阻。

3．LED 的功率

LED 功率的大小也各不相同，有 60mW、100mW、1W、2W、3W、5W 等，COB 光源功率为 3～50W，所以必须根据所选择的 LED 或 COB 光源，设计合理的使用电路和配置合适的 LED 数量或 COB 光源串并数，使其完全满足 LED 电源的额定参数。如果设计的电路使每串 LED 或每个 COB 光源分担电压过高或电流过大，就会严重影响 LED 或 COB 光源的使用寿命甚至烧毁 LED 或 COB 光源；如果分担的电压过低或电流过小，则激发的 LED 或 COB 光源光强不够或者会出现 LED 闪烁，出现故障，就不能充分发挥 LED 或 COB 光源光通量输出的应有效果，达不到设计者所期望的目的。为了达到设计的 LED 灯具输出光效，降低其额定电流或其功率也是可以的，即降低其光通量，达到提高 LED 灯具输出光效的效果。



光通量的输出与正向电流之间的关系是非线性的，在额定电流以上，随着 LED 内部温度的升高，光通量甚至开始降低。

4．温度特性

（1）LED 的焊接温度应在 300℃以下，焊接时间控制在 3～5s。LED 在过波峰焊和浸锡炉焊接时，需保证焊接温度不超过 265℃，时间 t≤5s，焊接点离胶体底部应在 2.5mm 以上。若采用手动电烙铁焊接，需保证焊接温度≤350℃，时间 t≤3s。请勿在点亮状态下焊接

LED。为避免 LED 温度过高从而使芯片受损，焊接的位置最好在引脚卡点以外的位置。

在焊接 LED 引脚时，应避免 LED 引脚与胶体受到任何震动或外力。焊接完成后 3s 内，不要扳动 LED 引脚或胶体。

（2）LED 的亮度输出与温度成反比，温度不仅影响 LED 的亮度，也影响其寿命。在使用中应尽量减少电路发热，并做一定的散热处理，在设计 LED 发光板时尽可能使铜箔有效面积加大。

1W LED 产品要求金属基板的表面散热面积至少为 30cm^2（3W LED 产品建议在 80cm^2 以上），且其导热系数要高于 2.0W/m • K。LED 散热底部与金属基板结合靠导热性较好的导热胶，要求导热系数高于 1.0W/m • K，厚度小于 100μm。

（3）建议采用回流焊机或加热台焊接，不建议用电烙铁焊接。回流焊可以使用回流焊炉完成，或者将 PCB 放在热台上并遵照回流焊温度曲线操作。

（4）在焊接 LED 时，建议使用“免清洗型”焊锡膏，在回流焊后就不需要清洗 PCB。无铅焊锡膏类型有 $Sn_{64}Bi_{35}Ag_1$（熔点为 178℃）、$Sn_{96.5}Ag_3Cu_{0.5}$（熔点为 217℃），有铅焊锡膏类型有 $Sn_{62}Pb_{36}Ag_2$（熔点为 178℃）、$Sn_{63}Pb_{37}$（熔点为 183℃）。

（5）焊膏厚度应在 1～2mil（1mil=0.0254mm）之间，具体取决于焊膏滴涂准确度。如果焊膏厚度超过 2mil，可能会导致 LED 在回流焊过程中出现滑移。增加焊膏厚度也会导致焊剂清洁工作量的增加，同时焊盘旁边将会出现细小的焊球。



- ☺ 由于锡膏中含有大量水分，为避免其中湿气通过支架引脚渗入灯体内部，造成回流焊接后的 LED 失效问题，故将 TOP LED 进行表面贴装后，回流焊接完成控制在 2h 内，且回流焊接次数最多不得超过两次，时间间隔控制在 4h 内，车间环境湿度为 60%RH，温度在 30℃以内。
- ☺ 常见的锡膏有低温锡膏、中温锡膏、高温锡膏等，低温锡膏的熔点为 138℃，中温锡膏为 SMT 常用无铅焊锡膏，熔点为 172℃，高温锡膏的熔点为 210～227℃。
- ☺ 锡膏最佳的使用温度为 24±3℃，湿度为 65%RH 以下。刮刀角度以 45° ～60° 为标准，根据刮刀的长度及速度，应该以刮刀刮过钢板后不残留锡膏为准。
- ☺ 锡膏须冷藏，以密封形式保存在 3～10℃恒温、恒湿的专用冷藏柜内，以延长保存期限。在使用锡膏前必须将锡膏回温 2～4h 方可使用，避免由于温差大而在锡膏表面产生水分，减少（避免）锡珠的产生。
- ☺ 锡膏一般保存时间为自生产日期起最长 6 个月（免洗），购买锡膏到货后，应登记锡膏到达时间、保质期、型号，并为每罐锡膏编号。

5．化学品选择注意事项

在选取灯具使用的材料时，特别需要考虑采用的灌封胶、粘接胶、垫片材料、焊剂和残余化学品，任何会接触到 LED 的化学品都要慎重考虑。即使是电路板，随着工作温度的升高，也会释放出可能对 LED 有损伤的气体。现在市场上所用的灌封胶或多或少都会含有一

些对 LED 封装本体发生化学反应的物质，或含有对封装密封性结构产生影响的化学物质。目前白光 LED 为达到有效的散热效果，增加光通量的保持率，各大封装厂普遍采用高分子甲基类硅胶、苯基类硅胶作为密封胶。必须保证灌封胶与 LED 是兼容的，不会影响 LED 封装硅胶的透光特性，灌封胶不能直接涂覆在 LED 发光区表面。



- ☺ 避免在 LED 透镜上施加机械应力，以免损坏 LED 透镜表面，进而影响 LED 的光学性能和可靠性。
- ☺ 不得在 LED 封装本体表面使用不明化学物质的胶体涂覆或灌封在 LED 封装表面，以免因上述化学物质与 LED **封装本体**的不兼容，LED 出现永久性失效现象。
- ☺ 避免 LED 暴露在偏酸性（pH<7）的车间环境中，对于采购的其他 LED 组装配套的物料，可要求生产厂家提供原物料的 MSDS 报告，以确认生产厂家提供的原物料是否含硫、卤素类物质，以防止其与 LED 材料发生化学或物理反应，从而导致 LED 光电性能的失效。
- ☺ 对 PCB 残硫量进行质量管控，一般以 PCB 铜箔上硫（S）的含量最高不超过 0.5% 为上限标准。
- ☺ 氧化物的潜在来源包括纸张、空气过滤器、清洁化学品、橡皮筋、橡胶手套、纸板箱、粘接胶、橡胶垫和灌封胶等。

6．LED 防潮处理

（1）建议在装配之前不要打开防潮袋，如果无法避免，必须立即将元件与干燥剂和新的湿度指示卡一起进行密封包装或将开封材料保存于环境温度不高于 30℃、环境湿度 5%RH 条件下。

（2）防潮袋打开后的控制。打开防潮袋后，立即阅读湿度指示卡或观察防潮珠是否变红以确认防潮袋中的湿气是否过多。车间寿命必须被严格控制在表 1-9 所规定的最大允许期内。只要 SMD 暴露在周围环境中，则需累计其使用时间，烘焙时除外。

表 1-9　LED 湿度敏感等级

序　　号	湿度敏感等级	有效开封时间	条　　件
1	1	无限制	≤85%RH
2	2	1 年	≤30℃/60%RH
3	2a	4 周	≤30℃/60%RH
4	3	1 周	≤30℃/60%RH
5	4	72h	≤30℃/60%RH
6	5	48h	≤30℃/60%RH
7	5a	24h	≤30℃/60%RH
8	6	标签上所注时间	≤30℃/60%RH

（3）拆开包装的 LED，请在 8h 内使用完，如未按规定使用完，需进行烘烤除湿。

（4）打开包装后，车间环境要求为环境温度不高于 30℃、环境湿度 60%RH，或按规定将从打开密封的防潮袋后 SMD LED 曝露在车间周围环境下的总时间定义为车间寿命。LED 湿度敏感等级如表 1-9 所示。



按 IPC/JEDEC J-STD-020 规定的材料湿度敏感等级（Moisture Sentivity Levels，MSL）定义，由小排到大，数字越小的表示元器件抗湿度能力越好；数字越大的，表示其可以曝露于环境湿气的时间要越短。

1.6.2 LED 防静电知识

LED 装配过程中必须加强防静电措施，因为操作过程和人体本身都会产生静电，而双电极的 LED 最易被静电反向击穿，从而严重影响 LED 的使用寿命甚至使其完全报废。如果防静电环境不是非常完善，可以给 LED 使用者佩戴防静电腕带（防静电环），并为防静电腕带和操作台设置良好的防静电接地系统、离子风机等设备。双电极的 LED 在封装时可并联齐纳二极管（稳压二极管）以保护 LED。

LED 是用 GaN 基构成的器件，由于是宽禁带半导体材料，所以其电阻率较高，对于 InGaN、AlGaN、GaN 的双异质结构蓝光 LED，其 InGaN 的有源层的厚度一般只有几十纳米。这种 LED 的两个正、负电极在芯片同一面上，两者之间距离很小，若两端的静电电荷累积到一定值，会将 PN 结击穿，使其漏电增大，严重时 PN 结击穿短路，LED 失效。正是因为存在静电威胁，所以对于上述结构的 LED 芯片和器件在加工过程中对加工场地、机器、工具、仪器及员工服装等均要采取防静电措施，确保不损伤 LED。另外，在芯片和器件的包装上也要用防静电的材料。也有从衬底材料、外延结构和芯片结构上改进的，这在很大程度上解决了防静电击穿的问题，例如，用 SiC 做衬底，使 P 和 N 的两个电极从两个面引出，可以在较大程度上解决这一问题；再如，用 Flip-Chip，在 LED PN 结的硅片上制作两个背对背稳压管钳位以保护 LED PN 结不受静电威胁。当然，从应用角度讲，在使用 LED 时也可以加装保护电路。

ESD 普遍被认为是许多半导体器件制造、运输和装卸过程中的一种常见危害。通常静电放电模型有人体模式、机器模式。如（人体模式）人体活动时身体与衣服之间的摩擦产生摩擦电荷，当人们接触静电敏感装置而不事先泄放电荷到大地，电荷将会移向 ESD 敏感的装置（LED 为对静电极其敏感的电子元器件）而造成损坏。



ESD 原意是指静电释放（Electronic Static Discharge），即通过带静电区域直接接触或感应而引起的静电电荷在不同电势物体上的转移。后指静电防护，即避免静电释放的发生。

人体静电对 LED 的损害也是很大的，工作时应穿防静电服装，佩戴静电环，静电环应接地良好。静电放电的电压一般为几千伏。而碳化硅衬底芯片的 ESD 值只有 1100V，蓝宝石衬底芯片的 ESD 值就更低，只有 500～600V。一个好的芯片或 LED，如果用手去拿（身体未采取任何防护措施），则芯片或 LED 将受到不同程度的损害。

1．LED 生产、应用过程中的防静电原则

☺ 避免静电产生：设法消除一切可能出现的静电源。
☺ 消除静电：设法加速静电荷的逸散泄漏，防止静电荷的累积和消耗能量。

2．LED 器件使用环境的防静电措施

器件对静电放电（ESD）的灵敏度等级分类（依照抗静电放电电位最大值划分）如下。
☺ I 类：≤100V。
☺ II 类：≤500V。
☺ III 类：≤1000V。



☺ GaInN 类 LED（蓝光、绿光、白光）为 I 类器件，应在 I 类防静电工作区内使用。
☺ 而一般的上下电极的红光和黄光 LED 的抗 ESD 能力相对较高，可耐受不超过 500V 的静电放电，因此属于 II 类器件。

防静电措施如下。

（1）铺设防静电地板，并且要保证良好的接地消散系统，保证这些防静电设施的表面电阻率为 10^6～$10^9\Omega/cm^2$。地线与大地电位差不超过 3V 或者电阻值不超过 10Ω，接地线横截面积 $S \geqslant 1.3mm^2$，且需定期检测。

（2）LED 在周转以及使用过程中，必须在防静电作业台上和防静电周转盒/箱中流转、使用，防静电工作台面应铺设用静电耗散材料制作的防护台布。这些设施都必须予以良好的接地，且其相关参数必须能够符合以下要求。

☺ 表面电阻率：$10^6 \sim 10^9\Omega/cm^2$。
☺ 体电阻率：$10^3 \sim 10^8\Omega/cm^2$。
☺ 摩擦起电电位：≤100V。
☺ 静电电压衰减时间：≤0.5s。

（3）静电敏感器件的整个使用操作过程中，应开启直流式离子风机，且在离子风机的有效作用范围内（一般不超过 60cm）操作。

（4）静电防护区的相对湿度控制在 50%以上，最好在 70%～80%范围内。保持车间温度 15～35℃，湿度为 40%～65%RH。

（5）要有良好的防静电接地系统，将地面、作业台、生产设备、检测设备/仪器、腕带等，按工作区域和单元相互隔离，顺次入地，再汇入总线入地。

（6）静电保护区内应使用的防静电器具要求如下。

☺ 静电防护区的各种容器、工装夹具、作业台面和设备垫等应避免使用易产生静电的材料，主要指普型料制品和橡胶制品。

☺ 焊接用的电烙铁（最好用直流式恒温电烙铁）和使用的测试仪器要接地良好。

（7）有条件时应安装静电监测报警装置。

3．器具使用过程中的防静电措施

凡接触静电敏感器件的人员（生产、装配、测量、调试、包装、运输、存储、发放等），应注意以下事项。

（1）使用防静电腕带（或肘带、踝带）。

（2）穿着防静电工作服、鞋、帽。

（3）应避免可能造成静电损伤的操作：

☺ 将器件从包装袋内倾斜出来时，应尽可能轻缓，避免快速倾斜时产生静电荷（此动作产生的静电位最高可达 1 ~ 1.5kV）。

☺ 拿器件时，应仅接触管体，尽量不要碰触器具的外引线。

☺ 作业者在操作前或站立起来以后，要先用手接触防静电工作台或金属接地线，然后再进行工作。

☺ 不要做易于产生静电的动作，如擦脚、搓手、穿或脱衣服等。

☺ 使用仪表检测器件时，应在检测前将表笔接触接地的地线，以释放仪器内部的静电荷。

（4）组装台（工作台）需使用防静电台垫，且接地，盛装 LED 需使用防静电元件盒。

（5）电烙铁、贴片机、回流焊炉、加热板和半成品/成品检测设备均需接地，对地电压不超过 1.3V AC。

（6）操作人员佩戴有线防静电手腕带（静电环），手腕带种类很多，一般采用 1MΩ电阻的手腕带。

（7）良好的静电安全区域（SSZ）的相对湿度为 50%±10%RH，一般工厂生产作业区域的相对湿度不宜低于 30%RH。

（8）必要时可以采用相关设备（如感应式静电消除器和离子风静电消除器）消除静电荷。

1.7 LED 灯珠的测试

1．SMD5730 或 5630（单颗功率 0.5W）

单颗测试电压最大为 3V，4 颗串联测试电压为 12V，12 颗串联测试电压为 36V。

白光 LED 的测试电流为 150mA，电流限制为 0.15A。测试前须先调整好电流，选择合适的电压，然后再进行测试。SMD5730 和 SMD5630 LED 的外形如图 1-22 所示。



三星公司生产的 SMD5630 LED 的外形不一样，测试过程要注意，见图 1-22（b）。

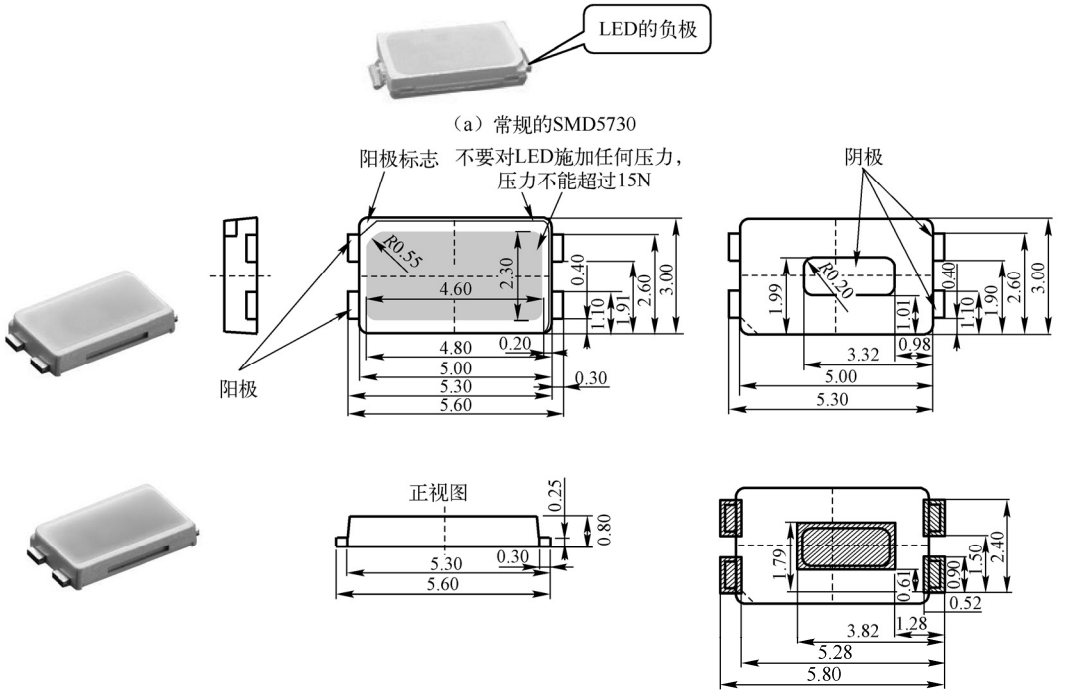


图 1-22　SMD5730 和 SMD5630 LED 的外形

2．大功率 LED 流明型（单颗功率 1W）

单颗测试电压最大为 3V，4 颗串联测试电压为 12V，12 颗串联测试电压为 36V。红光、绿光、蓝光和琥珀光的测试电流均为 350mA，电流限制为 0.35A。测试电流：测试前须先调整好电流，选择合适的电压。大功率 LED 流明型的外形如图 1-23 所示。大功率 LED 流明型功率有 2W、3W 的，其测试电流分别为 700 mA、1050 mA。

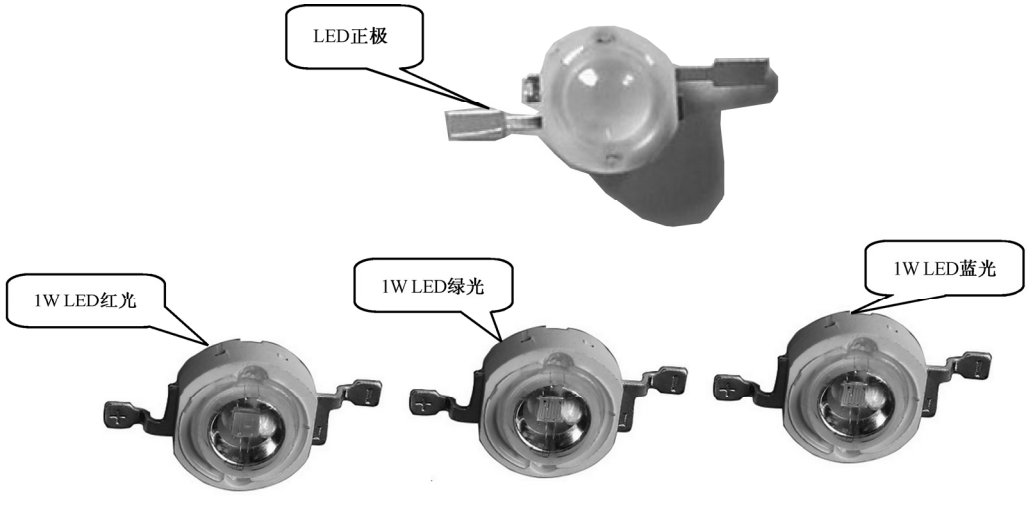


图 1-23　大功率 LED 流明型的外形

3．20mA 或 30mA SMD LED

红光单颗测试电压最大为 2.0V，蓝光、绿光、白光单颗测试电压最大为 3.5V。

测试电流：红光、绿光和蓝光均为 20mA。电流限制为 0.02A，测试前须先调整好电流，选择合适的电压，然后再进行测试。20mA SMD LED 的外形如图 1-24 所示。

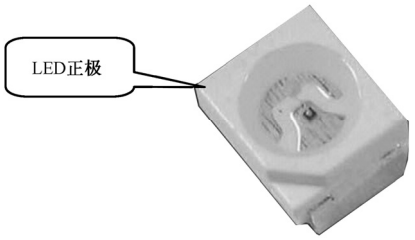


图 1-24　20mA SMD LED 的外形

4．60mA 或 150mA SMD2835 LED

白光单颗测试电压最大为 3.5V。白光测试电流为 60mA 或 150mA。电流限制为 0.06A 或 0.15A，测试前须先调整好电流，选择合适的电压，然后再进行测试。SMD2835 LED 的外形如图 1-25 所示。目前 SMD2835 的额定电压有 3V、9V、18V，额定电流有 30mA、60mA、150mA、350mA。其封装一样，这一点测试时一定要认清。测试时，必须参照供应商提供的产品规格书。

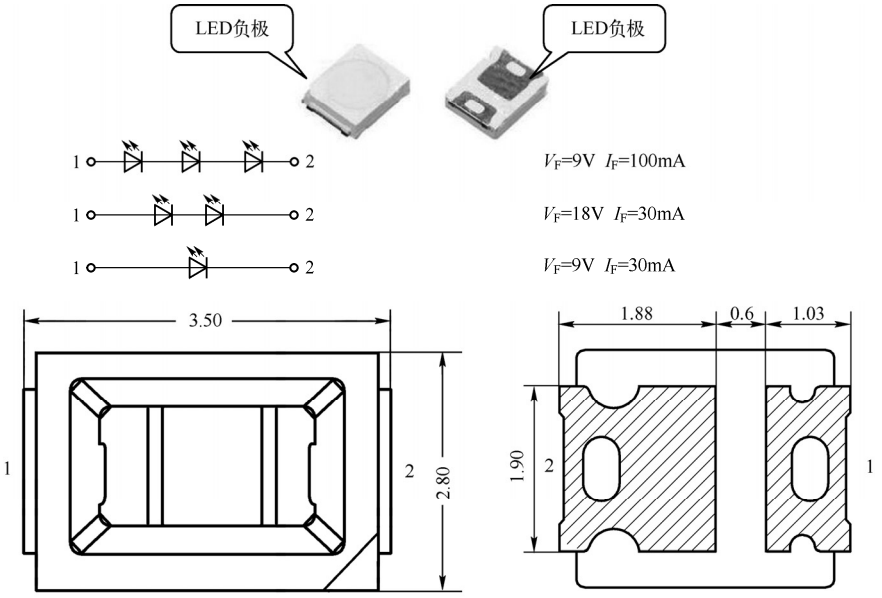


图 1-25　SMD2835 LED 的外形

5．直流电压源的使用调节

在测试 LED 前，按照测试需要，调节好直流电压源电压及电流，其操作步骤如图 1-26 所示。

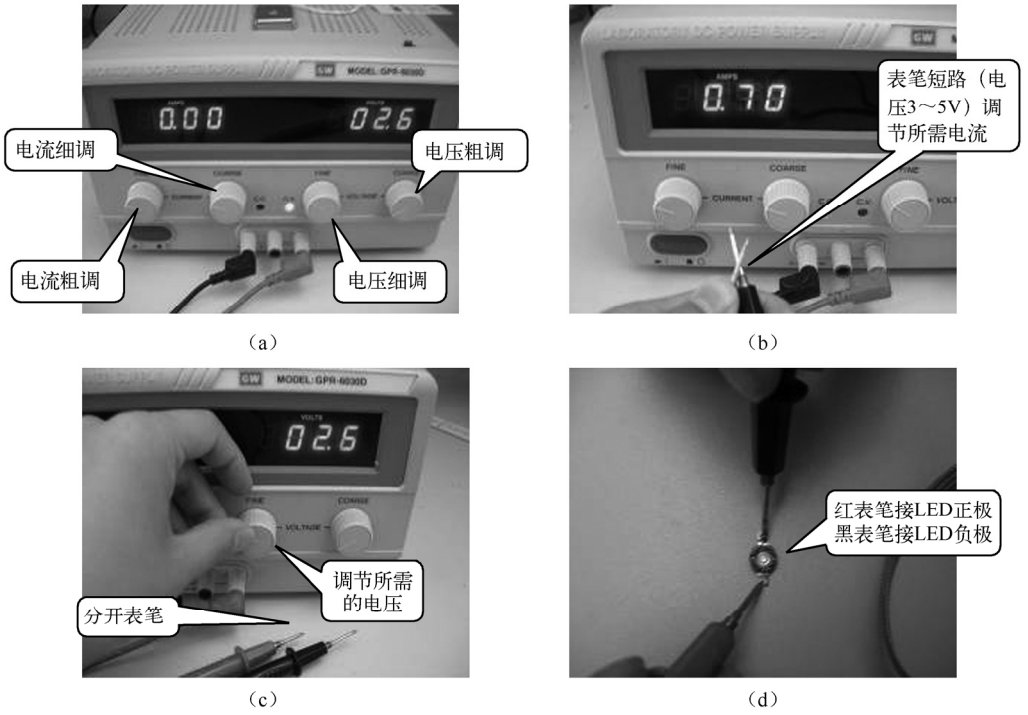


图 1-26　直流电压源的使用调节



测试前须调节好合适的电压、电流。短路调节电流时，电压不可过高。

6．单颗未知颜色 LED 的测试

先根据 LED 的外形及相关的规格书来判定需要检测的 LED 种类。

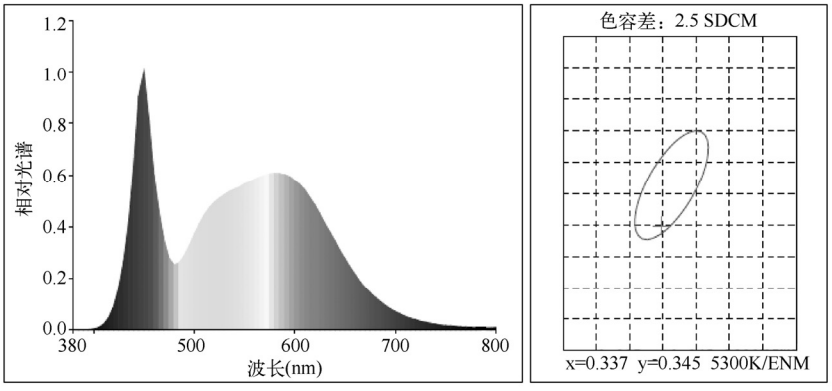
☺ SMD5050 测试电流为 60mA（白光）。
☺ SMD RGB5050 测试电流为 20mA。
☺ SMD RGB3535 测试电流为 20mA。
☺ SMD5630 测试电流为 150mA。
☺ LED ϕ5 测试电流为 20mA。
☺ LED ϕ10 测试电流为 50mA。
☺ SMD3014 测试电流为 30mA。
☺ SMD4014 测试电流为 60mA 或 120mA。
☺ SMD7070 测试电流为 300mA 或 350mA。
☺ XBD LED 测试电流选用 350mA。
☺ XPE LED 测试电流选用 350mA。
☺ 3535 LED 测试电流选用 350mA。
☺ Luxeon、Lambert、K2 LED 测试电流选用 350mA。

7．积分球测试 LED

积分球可以测量光源的光通量、色温、显色指数、光效、色容差、功率等指标。SMD2835 测试报告如图 1-27 所示。

颜色	色温范围	墨色指数 Min.	光通量 (Im)@150mA Range	电压 (V)@150mA	订购代码
冷白	ANSI 5700K (5028~6530K)	80	60~65	3.0~3.6	LL-BG 000H
			55~60	3.0~3.6	LL-BG 000H
			50~55	3.0~3.6	LL-BG 000H
			45~50	3.0~3.6	LL-BG 000H
自然白	ANSI 4000K (3710~4530K)	80	60~65	3.0~3.6	LL-BG 000U
			55~60	3.0~3.6	LL-BG 000U
			50~55	3.0~3.6	LL-BG 000U
			45~50	3.0~3.6	LL-BG 000U

电光源测试报告



颜色参数：
色品坐标：x=0.3358 y=0.3398
色品坐标：u'=0.3358 v'=0.3398(duv=–2.12e–03)
相关色温：Tc=5354K 主波长：λd=567.1nm 色纯度：Pur=2.7% 质心波长：550.0nm
色比：R=16.8% G=78.9% B=4.3% 峰值波长：λp=450.0nm 半宽度：Δλp=26.7nm
显色指数：Ra=83.9
R1＝83 R2＝88 R3＝90 R4＝85 R5＝84 R6＝83 R7＝87
R8＝70 R9＝15 R10＝70 R11＝85 R12＝67 R13＝84 R14＝95 R15＝79

光度参数：
光通量：63.105 1m 辐射通量：0.20316W 光效：139.3 1m/W

电参数：
灯具电参数：u=3.023v I=0.1499A P=0.4531W PF=1.000

仪器状态：
扫描范围：380.0nm–800.0nm 扫描间隔：5.0nm[0] 主通道峰值：Ip=23048(G=3,D=53)
参考通道：REF=16494(R=3) 最大波动： %=–0.012% 倍增管：27.7℃ 测试装置：27.8℃

图 1-27 SMD2835 测试报告

LED照明设计与应用（第3版）

第2章

光与照明基础知识

2.1 光的基本知识

2.1.1 光的基本概念

光是能量的一种存在形式。当一个物体（光源）发射出这种能量时，即使没有任何中间媒质，也能向外传播。光能量形式的发射和传播过程就称为辐射。光在一种介质（或无介质）中传播时，其传播路径将是直线，称之为光线。

现代物理学证实，光可以在真空、空气、水等透明的介质中传播，传播过程中主要显示出波动性，而在光与物质的相互作用中，主要显示出微粒性，即光具有波动性和微粒性的二重性。与之相对应，关于光的理论也有两种，即光的电磁理论和光的量子理论。

2.1.2 光的基本度量

本节主要简述下列几种参数。

1．光通量Φ

光源发射并被人的眼睛接收的能量之和即为光通量，单位为流明（lm）。一般情况下，同类型的灯的功率越高，光通量也越大。例如，普通 40W 白炽灯的光通量为 350～470lm；普通 1.2M T5 28W 直管形荧光灯的光通量为 2800lm，为白炽灯的 6～8 倍。不同波长光的辐射功率相等时，其光通量并不相等。

2．照度 E

单位被照面上接收到的光通量称为照度，单位为勒克斯（lx）。1lx 相当于被照面上光通量为 1lm 时的照度，即 $1lx=1lm/m^2$。夏季阳光强烈的中午，地面照度约为 5000lx；冬天晴天时，地面照度约为 2000lx；晴朗的月夜，地面照度约为 0.2lx。照度是以垂直面所接受的光通量为标准。

3．光强 I

光源在某一给定方向的单位立体角内发射的光通量称为光源在该方向的发光强度，简称光强，单位为坎德拉（cd）。1cd=1lm/1sr，1000mcd=1cd。

4．亮度 L

光源在某一方向上的亮度是光源在该方向上的单位投影面积、单位立体角中发射的光通量，单位为尼特（nt），$1nt=1cd/m^2$。如果把每一物体都视为光源，那么亮度就是描述该光源光亮的程度，而照度正好是把每一物体都作为被照物体。用一块木板来举例说明，当一定光束照射到木板时，称木板有多少照度，而木板将多少光束反射到人眼，就称木板有多少亮度，即亮度等于照度乘以反射率。在同一房间的同一位置，一块白布和一块黑布的照度是相

同的，而亮度是不同的。

5．光效

光源所发出的总光通量与该光源所消耗的电功率的比值，称为该光源的光效，单位为流明/瓦（lm/W）。光效是衡量光源发光效率的重要指标。光效越高，表明照明灯具将电能转化为光能的能力越强，节能越多。

6．色温

当光源所发出的光的颜色与黑体在某一温度下辐射的颜色相同时，黑体的温度就称为该光源的色温（CT），用热力学温度 K（Kelvin）表示。黑体辐射理论是建立在热辐射基础上的，所以白炽灯一类的热辐射光源的光谱功率分布与黑体在可见区的光谱功率分布比较接近，都是连续光谱，用色温的概念完全可以描述这类光源的颜色特性。

7．相关色温

当光源所发出的光的颜色与黑体在某一温度下辐射的颜色接近时，黑体的温度就称为该光源的相关色温（CCT），单位为 K。由于气体放电光源一般为非连续光谱，与黑体辐射的连续光谱不能完全吻合，所以都采用相关色温来近似描述其颜色特性。色温（或相关色温）在 3300K 以下的光源颜色偏红，给人一种温暖的感觉。当色温超过 5300K 时，颜色偏蓝，给人一种清冷的感觉。通常气温较高的地区，多采用色温高于 4000K 的光源。气温较低的地方，则多用 4000K 以下的光源。

8．显色指数

太阳光和白炽灯均辐射连续光谱。物体在太阳光和白炽灯的照射下，显示出其真实颜色，但当物体在非连续光谱的气体放电灯的照射下时，颜色就会有不同程度的失真。我们把光源对物体真实颜色的呈现程度称为光源的显色性。为了对光源的显色性进行定量的评价，引入显色指数的概念。以标准光源为准，将其显色指数定为 100，其余光源的显色指数均低于 100。显色指数用 Ra 表示，Ra 值越大，光源的显色性越好。

9．平均寿命

平均寿命指一批灯当其中有 50%的灯损坏不亮时所点亮的小时数。

10．经济寿命

经济寿命指在同时考虑灯泡的损坏及光束输出衰减的状况下，其综合光束输出减至一特定比例时的小时数。此比例用于室外的光源为 70%，用于室内的光源（如日光灯）为 80%。

11．效率

光源发光效率是指一个光源所发出的光通量Φ与该光源所消耗的电功率 P 之比。

灯具效率是指在规定条件下测得的灯具所发射的光通量值与灯具内所有光源发出的光通量测定值之和的比值。

12．眩光

视野内有亮度极高的物体时，可以造成视觉不舒适，称为眩光。眩光分为失能性眩光和不舒适性眩光。眩光是影响质量的重要因素。根据眩光产生的方式，可分为直接眩光、反射眩光、光幕反射。眩光由统一眩光值表示，按 CIE 眩光值公式计算。

2.2 光源颜色、色温与显色性

1．颜色

光的颜色是由其波长决定的，光的波长以纳米为单位。LED 发出的光几乎都是一致的，也就是说它几乎都是在同一个波长发出非常纯的颜色。光的颜色及波长如表 2-1 所示。

表 2-1 光的颜色及波长

序号	名　称	英文	波长（nm）	典型值	序号	名　称	英文	波长（nm）	典型值
1	中红外线		460～1600	不可见光	8	黄光	Yellow	577～597	585nm
2	低红外线		870～1300	不可见光	9	绿色	Green	492～577	525nm
3	红光	Red	622～770	660nm	10	蓝绿色		495	天蓝色
4	橙色	Orange	597～622	610nm	11	蓝色	Blue	455～492	450nm
5	紫色	Violet	350～455	405nm	12	蓝紫色		430	
6	紫外线光		370	UV-A 型	13	鲜红色		645	
7	“钠”黄色		590		14	鲜亮蓝色		470～460	

注：① 波长的数值越大，在相等条件下可视效果越好。

② 可见光的波长在 380～780mm 范围内，即在光谱中红、橙、黄、绿、青、蓝、紫光的范围。

③ 颜色有明暗和深浅的区别，有强弱深浅、鲜浊、饱和度的差别。

2．色温

某辐射体与绝对黑体在可见光区域具有相同形状的光谱功率分布时的温度，称为该辐射体的色温。所谓黑体，是指能够完全吸收由任何方向入射的任何波长的辐射的热辐射体。不同温度下，绝对黑体的色度坐标见表 2-2。将表 2-2 中色度坐标画于色度图上，即得到黑体迹线。当某一光源的色度坐标（x，y）位于色度图中的黑体迹线上时，就以黑体的热力学温度为该光源的色温。但是，有许多光源的色度坐标并不在黑体迹线上，于是引出了相关色温的概念，即在色度图上，与某一光源的色度坐标点相距最近的那个黑体的热力学温度就定义为该光源的相关色温。

表 2-2　绝对黑体的色度坐标

序　　号	T（K）	x	y
1	500	0.721	0.279
2	1000	0.652	0.345
3	1500	0.586	0.393
4	1800	0.549	0.408
5	2000	0.526	0.413
6	2300	0.495	0.415
7	5000	0.345	0.351
8	6000	0.322	0.331
9	7000	0.306	0.316
10	10000	0.280	0.288
11	24000	0.250	0.253
12	∞	0.240	0.234

色温是表示光源光谱质量最通用的指标。低色温光源的特征是能量分布中红辐射相对要多些，通常称为“暖光”；色温提高后，能量分布集中，蓝辐射的比例增加，通常称为“冷光”。一些常用光源的色温如表 2-3 所示。光源色温不同，光色也不同，带来的感觉也不相同。色温越高，蓝光区域所占比重越大。

表 2-3　一些常用光源的色温

序　　号	名　　称	色温（K）	序　　号	名　　称	色温（K）
1	标准烛光	1930	5	闪光灯	3800
2	钨丝灯	2760～2900	6	中午阳光	5400
3	荧光灯	3000	7	电子闪光灯	6000
4	蓝天	12000～18000			

3．显色性

光源对物体的显色能力称为显色性，是通过与同色温的参考或基准光源下物体外观颜色的比较而得出的。光所发射的光谱内容决定光源的光色，但同样光色可由许多或少数甚至仅仅两个单色的光波组合而成，对各个颜色的显色性也大不相同。相同光色的光源会由相异的光谱组成，光谱组成较广的光源较有可能提供较佳的显色品质。当光源光谱中很少或缺乏物体在基准光源下所反射的主波时，颜色将产生明显的色差。色差程度越大，光源对该色的显色性越差。

1）显色分类

（1）忠实显色：能正确表现物质本来的颜色需使用显色指数（Ra）高的光源，其数值接近 100，显色性最好。

（2）效果显色：要鲜明地强调特定色彩、表现美的生活，可以利用加色的方法来加强显色效果。采用低色温光源照射，能使红色更加鲜艳；采用中等色温光源照射，可使蓝色具有

清凉感；采用高色温光源照射，可使物体有冷的感觉。

2）显色指数与显色性的关系 当光源光谱中很少或缺乏物体在基准光源下所反射的主波时，会使颜色产生明显的色差。色差程度越大，光源对该色的显色性越差。显色指数仍为目前定义光源显色性的普遍评价方法。

例如，用 8 种彩度中等的标准色样来检验，比较在测试光源下与在同色温的基准下的偏离（Deviation）程度，以测量该光源的显色指数，取平均偏差值 Ra 为 20～100，以 100 为最高，平均色差越大，Ra 值越低。Ra 值低于 20 的光源通常不适于一般用途。显色指数的用途见表 2-4。

表 2-4 显色指数的用途

序　号	显色指数（Ra）	等　级	显 色 性	一 般 应 用
1	90～100	1A	优良	需要色彩精确对比的场所
2	80～89	1B		需要色彩正确判断的场所
3	60～79	2	普通	需要中等显色性的场所
4	40～59	3		对显色性的要求较低、色差较小的场所
5	20～39	4	较差	对显色性无具体要求的场所

白炽灯的理论显色指数为 100，但实际生活中的白炽灯种类繁多，应用也不同，所以其 Ra 值不是完全一致的，只能说是接近 100，但却是显色性最好的灯具。各种灯具的 Ra 值见表 2-5。

表 2-5 各种灯具的 Ra 值

序　号	光　源	显色指数（Ra）	序号	光　源	显色指数（Ra）
1	白炽灯	97	6	高压汞灯	22～51
2	日光色荧光灯	80～94	7	高压钠灯	20～30
3	白色荧光灯	75～85	8	金属卤化物灯	60～65
4	暖白色荧光灯	80～90	9	钠铊铟灯	60～65
5	卤钨灯	95～99	10	镝灯	85 以上

2.3 光与视觉

1．视觉

光作用于视觉器官，使感受细胞兴奋，其信息经视觉神经系统加工后便产生视觉（Vision）。通过视觉，人和动物感知外界物体的大小、明暗、颜色、动静，获得对机体生存具有重要意义的各种信息。至少有 80%以上的外界信息经视觉获得，视觉是人和动物最重要的感觉。

视觉的形成过程是：光线→角膜→瞳孔→晶状体（折射光线）→玻璃体（固定眼球）→视

网膜（形成物像）→视神经（传导视觉信息）→大脑视觉中枢（形成视觉）。

2．光谱光视效能

光视效能描述某一波长的单色光辐射通量可以产生多少相应的单色光通量，即光视效能定义为同一波长下测得的光通量与辐射通量的比值，单位为流明/瓦特（lm/W）。

$$\Phi_v(\lambda)=K_m V(\lambda)\Phi_e(\lambda) \tag{2-1}$$

光和辐射之间的关系量，等于光通量与相应的辐通量之商。对于复合辐射，其符号为 K。式（2-1）中，Φ_e 为光通量；Φ_v 为辐通量；$V(\lambda)$是光谱光视效率；K_m 是 $K(\lambda)$的最大值，称为最大光谱光视效能。1977 年，国际计量委员会统一采用频率为 540×10^{12}Hz 的单色辐射（相当于λ=555nm）的最大光谱光视效能 K=6831m/W。

3．视觉适应

视觉适应是视觉器官的感觉随外界亮度的刺激而变化的过程，有时也指这一过程达到的最终状态。视觉适应的机制包括视细胞或神经活动的重新调整、瞳孔的变化及明视觉与暗视觉功能的转换。由黑暗环境进入明亮环境，眼睛过渡到明视觉状态称为明适应，所需时间为几秒或几分钟。由明亮环境进入黑暗环境，转换成暗视觉状态称为暗适应，这个过程约需要十几分钟到半小时。频繁的视觉适应会导致视觉迅速疲劳。

1）光适应　人刚从暗处走到亮处的时候，最初的一瞬间会感到强光耀眼发眩，眼睛睁不开，什么都看不清楚，要过几秒钟才能恢复正常，这就是光适应现象。光适应是视觉器官对强光的感受性下降的过程。光适应与集中分布在视网膜中央的凹的锥体细胞关系非常密切，只要环境中光照亮度超过 10^3 烛光/m^2，视锥细胞就会被激活。光适应的过程一般比较迅速，所用的测定方法不同，得到的结果也不尽相同。但是，一般说来，在最初半分钟内感受性下降很快，以后适应的速度有所减慢，2～3min 内即可达到稳定水平。

2）暗适应　人刚从亮处走进暗室的时候，开始什么也看不见，经过相当长的时间，视觉才恢复，这就是暗适应的过程。暗适应是由于光刺激由强到弱的变化，使眼睛的感受性相应地发生由低到高的变化。

4．可见度与眩光

1）可见度　可见度又称能见度，指物体能被看见的清晰程度。可见度的大小主要取决于光线的强弱及介质传播光线的能力。气象学中，能见度被定义为大气的透明度，因此在气象学里，同一空气的能见度在白天和晚上是一样的。能见度的单位一般为米（m）或千米（km），天气好时能见度高，数值大；天气不好时能见度低，数值小。

2）眩光　视野中由于不适宜亮度分布，或者在空间或时间上存在极端的亮度对比，以致引起视觉不舒适和降低物体可见度的视觉条件，称为眩光。眩光是引起视觉疲劳的重要原因之一。

眩光产生分为不适型眩光、光适应型眩光和丧能型眩光 3 种类型。不适型眩光是指在某些太亮的环境下感觉到的不适。光适应型眩光是指当人从黑暗的电影院（或地下隧道）走入阳光下双眼视觉下降的一种现象。丧能型眩光是指由于周边凌乱的眩光源引起人眼视网膜像对比度下降从而导致大脑对图像的解析困难的一种现象。

眩光主要是由于光源位置与视点的夹角造成的。亮度极高的光源，经过反射而产生的亮度极高的光或者强烈的亮度对比，就会让观众产生眩光。

CIE 对于眩光限制的质量等级如表 2-6 所示。

表 2-6　CIE 对于眩光限制的质量等级

序号	质 量 等 级	作业或活动的类型
1	A（很高质量）	非常精确的视觉作业
2	B（高质量）	视觉要求高的作业、中等视觉要求的作业，但需要注意力高度集中
3	C（中等质量）	视觉要求中等的作业，注意力集中程度中等，工作者有时要走动
4	D（质量差）	视觉要求和注意力集中程度的要求比较低，而且工作者常在规定区域内走动
5	E（质量很差）	工作者不要求限于室内某一工位，而是走来走去，作业的视觉要求低，或不为同一群人持续使用的室内区域

注：该表也可以看作是照明质量的分级。从 A 向 E 变化，亮度限制的要求逐渐降低，眩光逐渐增加，照明的质量逐渐下降。A 类照明质量非常好，C 类是中等质量，E 类非常差。

5．照度及其均匀度

1）照度　照度即光照强度，是指单位面积上所接受可见光的能量，对生物的光合作用影响很大，可通过照度计来测量。光照强度的单位为勒克斯（Lux 或 Lx）。照度为物理术语，是用于指示光照的强弱和物体表面被照明程度的量。

1lx 为 1lm 的光通量均匀分布于 $1m^2$ 面积上的光照度。照度以垂直面所接受的光通量为标准，若倾斜照射则照度下降。

照度标准值按 0.5、1、2、3、5、10、15、20、30、50、75、100、150、 200、300、500、750、1000、1500、2000、3000 、5000（单位：lx）分级。

一般而言，居家空间到底适用何种光源，除依据室内的整体规划外，也应考虑用电效率及各场所所需的应有照度。每一不同使用目的的场所，均有其合适的照度来配合。例如，起居间所需照明照度为 100～300lx；一般书房照度为 100lx，但阅读时所需照明照度则为 300lx，所以最好再使用台灯作为局部照明。各场所照度如表 2-7 所示。

表 2-7　各场所照度

序　　号	场　　所	照度（lx）
1	书房、办公室	100～300
2	卧室	75～150
3	厨房	100～150
4	浴厕、更衣室	100
5	餐厅	150
6	走道、楼梯间	50
7	电梯前厅	75
8	车库、仓储	30

一般情况下，夏日阳光下照度为 100000lx；阴天室外的照度为 10000lx；室内日光灯的

照度为 100lx；距 60W 台灯 60cm 桌面的照度为 300lx；电视台演播室的照度为 1000lx；黄昏室内的照度为 10lx；夜间路灯的照度为 0.1lx；烛光（20cm 远处）的照度为 10～15lx。

室内刚能辨别人脸的轮廓时，照度为 20lx，下棋、打牌时的照度为 150lx，读书时约需 250lx，即距 25W 白炽灯 30～50cm；书写时约需要 500lx，即距 40W 白炽灯 30～50cm；看电视约需 30lx，用一支 3W 的小灯放在视线之外即可。



☺ GB 50034—2013《建筑照明设计标准》规定了新建、改建和扩建的居住、公共和工业建筑的一般照度标准值。

☺ GB 50034—2013《建筑照明设计标准》规定了办公建筑照明标准中 UGR≤19，商业建筑照明标准中 UGR≤22。

2）照度均匀度 照度均匀度指规定表面上的最小照度与平均照度之比，即

照度均匀度=最小照度值/平均照度值

最小照度值是按照逐点计算法算出来的。

$$U_0=E_{min}/E_{av} \quad U_1=E_{min}/E_{max}$$

光线分布越均匀说明照度越好，视觉感受越舒服，照度均匀度越接近 1 越好；反之照度均匀度越小越增加视觉疲劳。

6．亮度与光色舒适度

1）亮度 亮度是指发光体（反光体）表面发光（反光）强弱的物理量。人眼从一个方向观察光源时，在这个方向上的光强与人眼所“见到”的光源面积之比，定义为该光源单位的亮度，即单位投影面积上的发光强度。亮度的单位是坎德拉/平方米（cd/m^2）。

亮度是人对光的强度的感受。它是一个主观的量。与亮度不同，由物理定义的客观的相应的量是光强。这两个量在一般的日常用语中往往被混淆。

2）光色舒适度 光色舒适度是指观看光源时眼睛主观的舒适感受，具体表现在观看电源达一定时间后眼睛的疲劳程度、眨眼频率、视力状况等。

☺ 低照度下，舒适的光色是接近火焰的低色温光色。

☺ 偏低或中等照度下，舒适的光色是接近黎明和黄昏的色温略高的光色。

☺ 较高照度下，舒适的光色是接近中午阳光或高色温的蓝天光色。

2.4 电光源及电器器件与灯具

2.4.1 光源及其分类

宇宙间的物体有的是发光的，有的是不发光的。通常把发光的物体叫作光源。太阳、电灯、燃烧着的蜡烛等都是光源。光也有能量。光源分冷光源和热光源，冷光源是几乎不含红

外线光谱的光源，如 LED 光源。热光源就是利用热能激发的光源，如卤钨灯等。

1．照明光源

照明光源是以照明为目的，辐射出可见光谱（波长 380～780nm）的电光源，其规格品种繁多，功率为 0.1W～20kW，产量占电光源总产量的 95%以上。照明光源品种很多，按发光形式分为热辐射光源、气体放电光源和电致发光光源 3 类。

（1）热辐射光源。电流流经导电物体，使之在高温下辐射光能的光源，包括白炽灯和卤钨灯两种。

（2）气体放电光源。电流流经气体或金属蒸气，使之产生气体放电而发光的光源。气体放电有弧光放电和辉光放电两种，放电电压有低气压、高气压和超高气压 3 种。弧光放电光源包括荧光灯、低压钠灯等低气压气体放电灯，高压汞灯、高压钠灯、金属卤化物灯等高强度气体放电灯，超高压汞灯等超高压气体放电灯，以及碳弧灯、氙灯、某些光谱光源等放电气压跨度较大的气体放电灯。辉光放电光源包括利用负辉区辉光放电的辉光指示光源和利用正柱区辉光放电的霓虹灯，二者均为低气压放电灯；此外，还包括某些光谱光源。

（3）电致发光光源。在电场作用下，使固体物质发光的光源。它将电能直接转变为光能，包括场致发光光源和 LED 两种。

2．辐射光源

辐射光源是不以照明为目的，能辐射大量紫外光谱（380nm）和红外光谱（780nm）的电光源。它包括紫外光源、红外光源和非照明用的可见光源。以上两大类光源均为非相干光源。此外，还有一类相干光源，它通过激发态粒子在受激辐射作用下发光，输出光波波长从短波紫外直到远红外，这种光源称为激光光源。

3．主要光源介绍

实质上，使用效率最高的光源是低压钠灯，由于它发射单色的黄色光，因此几乎没有显色性能。与之相对照，白炽灯及卤钨灯有极好的显色性能，但是其发光效率很低。主要光源的参数如表 2-8 所示。

表 2-8　主要光源的参数

序　　号	光 源 种 类	光效（lm/W）	显色指数（Ra）	色温（K）	平均寿命（h）
1	白炽灯	15	100	2800	1000
2	卤钨灯	25	100	3000	2000～5000
3	普通荧光灯	70	70	全系列	10000
4	三基色荧光灯	93	80～98	全系列	12000
5	紧凑型荧光灯	60	85	全系列	8000
6	高压汞灯	50	45	3300～4300	6000
7	金属卤化物灯	75～95	65～92	3000/4500/5600	6000～20000
8	高压钠灯	100～120	23/60/85	1950/2200/2500	24000

续表

序　　号	光 源 种 类	光效（lm/W）	显色指数（Ra）	色温（K）	平均寿命（h）
9	低压钠灯	200	85	1750	28000
10	高频无极灯	50～70	85	3000～4000	40000～80000
11	固体白灯	20	75	5000～10000	100000
12	LED	110 及以上	65～95	2700～10000	1000000

（1）白炽灯。白炽灯主要部件包括灯丝、支架、泡壳、填充气体、灯架。使用通电的方式加热玻璃泡壳内的灯丝，导致灯丝产生热辐射而发光，灯头是白炽灯电连接和机械连接部分，按形式和用途主要可分为螺口式灯头、聚焦灯头及特种灯头。在普通白炽灯中，最常用的螺口式灯头为 E14、E27；最常用的插口灯头为 B15、B22。白炽灯常用于住宅基本照明及装饰照明，具有安装容易、立即启动、成本低廉等优点。



我国发布了淘汰白炽灯路线图，其他国家或地区也有类似计划。淘汰目标产品不包括反射型白炽灯、聚光灯、装饰灯等其他类型白炽灯及特殊用途白炽灯。

（2）卤钨灯。与额定功率相同的无卤素白炽灯相比，卤钨灯的体积要小得多，并允许充入高气压的较重气体（较昂贵），可延长寿命或提高光效。同样，卤钨灯也可直接接电源工作而不需控制电路。卤钨灯广泛用于机动车照明、投射系统、特种聚光灯、低价泛光照明、舞台及演播室照明，以及其他需要在紧凑、方便、性能上超过非卤素白炽灯的场合。

（3）荧光灯。主要用于商业和工业照明。通过设计的革新、荧光粉的发展及电子控制线路的应用，荧光灯的性能不断提高。带一体化电路的紧凑型荧光灯的引入拓宽了荧光灯的应用，包括家居的应用，将节能 75%，寿命提高 8～10 倍。一般情况下，所有气体放电灯都需要某种形式的控制电路才能工作。

荧光灯的性能主要取决于灯管的几何尺寸（即长度和直径）、填充气体的种类和变压器、涂覆荧光灯粉及制造工艺。现在常用的荧光灯有直管灯、高流明单端荧光灯、紧凑型荧光灯（CFLS），紧凑型荧光灯又称为节能灯。荧光灯控制电路（镇流器）可分为电感式和电子式。

（4）低压钠灯。光效最高，但仅辐射单色黄光，照明情况下不能分辨各种颜色。它主要用于道路照明、安全照明及类似场合下的室外应用。其光效是荧光灯的 2 倍、卤钨灯的 10 倍。与荧光灯相比，低压钠灯放电管是长管形的，通常弯成 U 形，把放电管放在抽成真空的夹层外玻璃壳内，其夹层外玻璃壳上涂有红外反射层以达到节能和提高最大光效的目的。

（5）高强度气体放电灯（HID）。这类灯都是高气压放电灯，特点是都有短的高亮度的弧形放电管，通常放电管外面有某种形状的玻璃或石英外壳，外壳是透明或磨砂的，或涂一层荧光粉以增加红色辐射。高强度气体放电灯分为高压汞灯（HPMV）、高压钠灯（HPS）、金属卤化物灯（M-H）3 种。

（6）感应灯。感应灯是刚出现不久的无极气体放电灯。所需要的能量通过高频场耦合到放电变压器的次级线圈产生有效的放电。从形式来看，感应灯是紧凑型荧光灯的另一种形式，但高压部分也许不同。这种灯不局限于长管形（如荧光灯管），同时还能瞬时发光，工作频率在几兆赫之内，并且需要特殊的驱动和控制灯燃点的电子线路装置。

（7）场致发光照明。场致发光照明包括多种类型的发光面板和发光二极管，主要应用于标志牌及指示器，高亮度发光二极管可用于汽车尾灯及自行车闪烁尾灯，具有低电流消耗的优点。



Ⅰ类灯具必须通过耐压测试：AC 1500V 5mA 60s；Ⅱ类灯具必须通过耐压测试：AC 3000V 5mA 60s；Ⅲ类灯具必须通过耐压测试：DC 500V 5mA 60s。

2.4.2 照明电器附件

照明电器附件主要是指整流器、电子触发器、电子变压器、电子镇流器、电子调频器、启辉器、灯用电器。

（1）整流器。整流器是一个整流装置，简单地说就是将交流（AC）转化为直流（DC）的装置。它有两个主要功能：将交流电（AC）变成直流电（DC），经滤波后供给负载，或者供给逆变器；给蓄电池提供充电电压。因此，它同时又起到一个充电器的作用。

（2）电子式镇流器。目前市面常见的镇流器有电感式镇流器和电子式镇流器两种。电子式镇流器（Electrical Ballast）是镇流器的一种，是指采用电子技术驱动电光源，使之产生所需照明的电子设备。与之对应的是电感式镇流器。现代日光灯越来越多地使用电子式镇流器，它轻便小巧，甚至可以将电子式镇流器与灯管等集成在一起，同时，电子式镇流器通常可以兼具启辉器的功能，因此又可省去单独的启辉器。电子式镇流器还可以具有更多的功能，比如，可以通过提高电流频率或者电流波形（如变成方波）改善或消除日光灯的闪烁现象；也可通过电源逆变过程使日光灯可以使用直流电源。

（3）电子变压器。电子变压器的输入为 AC 220V，输出为 AC 12V，功率可达 35W、50W。它是在高频电子式镇流器电路的基础上研制出来的一种变压器电路，其性能稳定、体积小、功率大，因而克服了传统的硅钢片变压器体积大、笨重、价高等缺点。

电子变压器就是开关稳压电源。它实际上就是一种逆变器。首先把交流电变为直流电，然后用电子元件组成一个振荡器将直流电变为高频交流电。通过开关变压器输出所需要的电压，然后二次整流供用电器使用。电子变压器具有体积小、重量轻、价格低等优点，被广泛用于各种电器中。

（4）启辉器。启辉器由充有氖气的玻璃泡、静触片、动触片组成。触片为双金属片。

2.4.3 灯具

灯具是指能透光、分配和改变光源光分布的器具，包括除光源外所有用于固定和保护光

源所需的全部零部件，以及与电源连接所必需的线路附件。

按照 GB 7000.1—2015 的分类和 IEC60598-1：2014 标准，目前只有Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类灯具，其接地要求如下：

（1）Ⅰ类灯具的外露导电部分应接地（地线），这是由Ⅰ类灯具的附加安全措施要求所决定的。

（2）Ⅱ类灯具不需要接地，因附加安全措施不是靠接地，而是靠双层绝缘或加强绝缘来保证的。

（3）Ⅲ类灯具不允许接地，因为其采用安全超低电压（SELV），低电压应使用隔离变压器与高电压隔离，不应接地。



（1）对 I 类灯具，灯具的防触电保护不仅依靠基本绝缘，而且还包括附加的安全措施，即把易触及的导电部件连接到设施的固定线路中的保护导线上，使易触及的导电部件在基本绝缘失效时不致带电。

（2）对Ⅱ类灯具，防触电保护不仅依靠基本绝缘，而且具有附加安全措施，如双重绝缘或加强绝缘，但没有接地或依赖安装条件的保护措施。

（3）对Ⅲ类灯具，防触电保护依靠电源电压为安全特低电压（SELV）。

照明灯具分为室内灯具和户外灯具两大类。其中室内灯具又包括商业照明、办公照明和家居照明。

户外灯具包括投光灯、路灯、高天棚灯、隧道灯、庭院灯、草坪灯、埋地灯、壁炉、水下灯等。

商业照明包括格栅射灯、射灯、筒灯、天花灯、壁灯等。办公照明包括格栅灯盘、支架、应急照明。

家居照明包括欧式灯、吸顶灯、水晶灯、花灯、台灯及落地灯、羊皮灯及布罩灯、镜前灯、工作灯、厨卫灯、低压灯、客房灯、蜡烛灯、黄沙玻璃灯等。

（1）吊灯。吊灯适合于客厅。吊灯的花样最多，常用的有欧式烛台吊灯、中式吊灯、水晶吊灯、羊皮纸吊灯、时尚吊灯、锥形罩花灯、尖扁罩花灯、束腰罩花灯、五叉圆球吊灯、玉兰罩花灯、橄榄吊灯等。用于居室的分单头吊灯和多头吊灯两种，前者多用于卧室、餐厅；后者宜装在客厅里。吊灯的安装高度，以其最低点离地面不小于 2.2m 为准。最好选择带分控开关的吊灯，因为如果吊灯的灯头较多，可以局部点亮。

消费者最好选择可以安装节能灯光源的吊灯，不要选择有电镀层的吊灯，因为电镀层时间长了易掉色。宜选择全金属和玻璃等材质内外一致的吊灯，但不要选择太便宜的吊灯。豪华吊灯一般适合复式住宅，简洁式的低压花灯适合一般住宅。最上档次、最贵的属水晶吊灯，但真正的水晶吊灯很少。

（2）吸顶灯。吸顶灯常用的有方罩吸顶灯、圆球吸顶灯、尖扁圆吸顶灯、半圆球吸顶灯、半扁球吸顶灯、小长方罩吸顶灯等。吸顶灯适合于客厅、卧室、厨房、卫生间等处。吸顶灯可直接装在天花板上，安装简易，款式简单大方。最好选择电子式镇流器吸顶灯（三基

色粉灯管）。

吸顶灯有带遥控和不带遥控两种，带遥控的吸顶灯开关方便，适用于卧室中。吸顶灯的灯罩材质一般是塑料、有机玻璃。

（3）落地灯。落地灯常用于局部照明，对于角落气氛的营造十分实用。落地灯若是直接向下投射，则适合阅读等需要精神集中的活动；若是间接照明，则可以调整整体的光线变化。落地灯的灯罩下边应离地面 1.8m 以上。落地灯一般放在沙发拐角处，落地灯的灯光柔和，落地灯的灯罩材质种类丰富，消费者可根据自己的喜好选择。

（4）壁灯。壁灯适合于卧室、卫生间照明。常用的有双头玉兰壁灯、双头橄榄壁灯、双头鼓形壁灯、双头花边杯壁灯、玉柱壁灯、镜前壁灯等。壁灯的安装高度以其灯泡离地面不小于 1.8m 为准。

（5）台灯。台灯按材质分为陶灯、木灯、铁艺灯、铜灯等，按功能分为护眼台灯、装饰台灯、工作台灯等，按光源分为灯泡台灯、插拔灯管台灯、灯珠台灯等。一般客厅、卧室等用装饰台灯，工作台、学习台用节能护眼台灯，但节能灯不能调光。

（6）筒灯。筒灯一般装设在卧室、客厅、卫生间的周边天棚上。这种嵌装于天花板内部的隐置性灯具，所有光线都向下投射，属于直接配光。可以用不同的反射器、镜片、百叶窗、灯泡，来取得不同的光线效果。筒灯不占据空间，可增加空间的柔和气氛。消费者要选择通过 3C 认证（国家强制认证）的筒灯。

（7）射灯。射灯可安置在吊顶四周或家具上部，也可置于墙内、墙裙或踢脚线里。射灯光线柔和、雍容华贵，既可对整体照明起主导作用，又可局部采光，烘托气氛。射灯一般可以分为轨道式、点挂式和内嵌式等多种。射灯有低压（配有变压器）、高压两种，低压射灯的寿命长一些，光效高一些。射灯功率因数越高越好。射灯可自由变换角度，组合照明的效果也千变万化。

2.5 传统照明灯具光源知识简介

LED 灯具与传统灯具具备一定的互换性，为了让销售人员能够了解相关传统灯具的光源知识，本节主要介绍传统照明灯具的相关知识。

1．光源的分类

（1）白炽灯（见表 2-9）。

表 2-9 白炽灯

序　号	名　称	别　名	特　点	应 用 场 所
1	普灯	普通灯泡	安装及使用方便，立即启动，成本低	民用
2	卤钨灯	碘钨灯、石英卤素灯	体积小，亮度高，寿命较普通灯长	广告牌、工作照明
3	冷光杯	反光杯灯	聚光投射	商场、重点照明、展览馆
4	PAR 灯		光束固定，有多种光束角度可选	水池、舞厅

（2）气体放电灯（见表 2-10）。

表 2-10　气体放电灯

序　　号	名　　称	学　　名	应 用 场 所
1	荧光灯	低气压汞蒸气放电灯	办公室、家居
2	电子式节能灯		各种场所
3	汞灯	高气压汞蒸气放电灯	厂房、路灯
4	高压钠灯		用于道路灯具
5	金属卤化物灯		适用各种场所

2．光源的参数

（1）光通量（Φ），见表 2-11。

表 2-11　光通量

序　　号	功　　率	光　　源	光通量（lm）
1	400W	高压钠灯	48000
2	1000W	普灯	10000
3	1000W	卤素灯	20000

（2）寿命，见表 2-12。

表 2-12　寿命

序　　号	光　　源	寿命（h）
1	高压钠灯	10000
2	卤素灯	3000

（3）显色指数（Ra），见表 2-13、表 2-14。

表 2-13　显色指数

序　　号	光　　源	显色指数（Ra）
1	普灯	100
2	卤素灯	100
3	荧光灯	65
4	汞灯	45
5	钠灯	20
6	金卤灯	65

表 2-14　显色指数用途

序　号	Ra	感　觉	用　途
1	＞90	极好	对色彩鉴别要求极高的场所，如印刷、印染品检验等
2	80～90	很好	彩色电视转播、陈列的展品照明
3	65～80	较好	室内照明
4	50～65	中等	室外照明
5	＜50	较差	对色彩要求不高的场所，如停车场、货场等

（4）色温，见表 2-15～表 2-17。

表 2-15　色温类别

序　号	类　别	色温（K）
1	暖色	＜3300
2	中间色	3300～5000
3	冷色	＞5000

表 2-16　实例

序　号	灯 具 名 称	色温（K）
1	荧光灯	5000
2	金卤灯	4000
3	钠灯	2000
4	普灯	2100

表 2-17　色温感觉

序　号	色温（K）	感　知	光　色	感　觉	照 明 效 果
1	2000～3000	日出 0.5h	金黄-白中带红	温暖	稳重
2	3000～4500	日出 2h	白中带黄	中间偏暖	自然
3	4500～5600	日出 4h	白	中间	舒适
4	＞5600	阴天	白中带蓝	中间偏凉	耀眼

注：色温越低，光色越偏红；色温越高，光色越偏蓝。

3．光源的规格

（1）三大光源公司，见表 2-18。

表 2-18　三大光源公司

序　号	英 文 名 称	公 司 名 称	国　家
1	GE	通用	美国
2	Philips	飞利浦	荷兰
3	OSRAM	欧司朗	德国

（2）金卤灯，见表 2-19。

表 2-19　金卤灯

序　　号	名称或公司	型　　号
1	飞利浦	HPT-T400
2	飞利浦	MHN-TD150
3	欧司朗	HQI-T
4	欧司朗	HQI-E
5	欧司朗	HQI-TS
6	普通金卤灯	M
7		J
8		HIT

4．光源的区别

光源的区别见表 2-20。

表 2-20　光源的区别

序　　号	名　　称	区　　别
1	汞灯	外壳涂粉
2	金卤灯	石英发光内管（透明）
3	钠灯	陶瓷发光内管（雾状、非透明）

5．光源的优缺点

光源的优缺点见表 2-21。

表 2-21　光源的优缺点

序号	名　　称	优　　点	缺　　点
1	白炽灯	价廉、立即点亮、显色性好	光效好、寿命短
2	节能灯	光效较高、寿命较长、光线柔和	价格贵
3	金卤灯	光效高、寿命长、显色性好	须带镇流器、触发器，再次启动能力差、电源要求高
4	钠灯	光效最高、寿命最长、启动性能好	须带镇流器、触发器，显色性差

6．光源的适用场所

光源的适用场所见表 2-22。

表 2-22　光源的适用场所

序　　号	名　　称	应 用 场 所
1	金卤灯	室内外场所（特殊地方除外）：停车场、商业区、广场、公园
2	高压钠灯	户外道路（郊区）

7．光源灯头

光源灯头见表2-23。

表2-23　光源灯头

序　号	灯　头	光 源 名 称	功率（W）	品　牌
1	E27	普通电子节能灯	9～26	欧司朗
2		白炽灯	40～100	
3		金卤灯	70～150	
4		高压钠灯	70	
5		高压钠灯	70～150	亚字牌
6	E40	金卤灯	175～2000	欧司朗
7		高压钠灯	150～1000	
8	RX7S	双端金卤灯	70～150	欧司朗
9	FC-2	双端金卤灯	250～400	
10		双端高压钠灯	250～400	
11	G12	插入式金卤灯	70～150	欧司朗
12	G13	荧光灯	18～58	欧司朗

2.6　LED照明灯具选用原则

2.6.1　LED室内照明灯具选用原则

LED在室内照明中应用越来越多，选择正确的照明灯具已成为LED室内照明的关键。在节约能源的前提下，需兼顾合理的照明质量。将LED光源及灯具引进室内照明设计，应充分运用LED光源与灯具，在节能与视觉需求的前提下，LED室内照明灯具选择原则如下：

（1）根据国家标准，选择符合工作要求的照度水平。且要求配光均匀，以产生舒适的视觉效果。要求照度高的场所宜采用局部照明。

（2）使用高效率的光源与电源。



LED光源或灯具光通量与寿命都会在制造厂外包装上列出，应选择光通量高且寿命长、功率最小的LED灯具或光源。

（3）LED光源的显色指数略低于白炽灯，要选择发光效率及寿命最符合室内照明节能需求的LED光源或灯具。



Ra在80以上称为高显色指数光源，色调自然，可达到色泽鲜丽的效果，提高物品表面颜色的还原程度，主要适用于室内照明，尤其是商场、医疗场所。目前在商业照明中，Ra可以达到90以上，甚至高达95。

（4）选择低眩光的 LED 灯具，同时要根据环境气氛要求与照度高低，而选择适当色温的 LED 光源。

（5）选择可调光、可变色温 LED 灯具。春秋两季调节为 4000～5000K 的色温，夏季调节为 5000～6500K 的色温，冬季调节为 3000～4000K 的色温。



（1）对于天花板较低的客厅，宜选用 LED 吸顶灯或 LED 筒灯；对于天花板较高的客厅，则可选用 LED 光源的吊灯。

（2）餐厅内的主灯可以采用 LED 球泡灯或 LED 射灯。

（3）厨房可以采用 LED 面板灯。

（4）卧室可以采用 LED 吸顶灯、LED 吊线灯、LED 筒灯或 LED 壁灯。

2.6.2 LED 商业照明灯具选用原则

商业照明的产生源于公共商业场所的诞生，为了满足商业场所照明的需要而产生用于商业场合的照明系统。商业照明的目的在于把商品价值显示出来，巧妙地利用光衬托商品，让灯光引导顾客注视到商品，以引起买者的兴趣。良好的商业照明要靠空间协调，产生均匀的视觉环境，展现出良好的显色指数，达到良好的舒适感及满足顾客生理和心理要求，提高商品价值与顾客购买欲。商业照明一般分为基础照明、重点照明和装饰性照明。

1．基础照明

基础照明指的是充满房间的非定向照明，为空间房间中所有活动创造一个普遍充足的照明基础，一般用于室内照明设计。目前 LED 日光灯灯管的效率已超越 T5、T8 荧光灯，已广泛替代 T8 或 T5 荧光灯具，可大幅减少电费支出。

办公室、走道、小型仓库与停车场等，在照明要求上均属于基础照明范围，以 LED 日光灯管、LED 球泡灯或 LED 射灯为主要照明灯具最为适合。大型仓库或工厂以 LED 工矿灯或 LED 天棚灯为主要照明灯具最为适合。

2．重点照明

重点照明是指用以强调某一特别目标物，或是引人注意视野中某一部分的一种方向性照明。通常被用于强调空间的特定部件或陈设，如建筑要素、构架、衣橱、收藏品、装饰品及艺术品等。商业场所的重点照明，如珠宝、名表店的射灯，百货公司高价名牌服饰等商业场所常用的卤素灯或金卤灯，已被低色温、高显色指数的 LED 灯具取代，如 MR16 射灯、PAR 灯、AR-111 射灯。LED 洗墙射灯、LED 天花灯、LED 轨道射灯等也是常用的重点照明灯具，主要用来照射商品或者艺术品。

3．装饰性照明

装饰性照明也称为气氛照明，是指通过色彩和动感上的变化，在智能照明控制系统情况

下，达到多种效果和气氛，给人带来不同的视觉上的享受。目前将宾馆、酒店、广告、橱窗、舞厅、餐厅等照明称为装饰性照明。

装饰性照明可以利用光纤、导光管及 LED 灯带或 LED 灯条，设计文字及图案照明；将 LED 面板灯或 LED 照明灯箱作为灯箱应用。

照明全方位的发展，改变了人们以往的观念。酒店客房是以休息为主的，应以低照度和光线柔和为主，营造宁静、舒适的气氛。酒店客房局部装有壁灯、台灯、落地灯、床头灯等灯具，目前都已采用调光照明灯具。

餐厅、宴会厅使用红黄色成分的光照和高显色主调，创造温暖热情、欢乐喜庆的环境气氛，迎合进餐者的心理需求。

LED 照明设计与应用（第3版）

第3章

LED照明市场分析及LED技术参数

3.1 LED照明市场的现状与前景

1．LED照明灯具的特点

（1）高效节能。1000h仅耗几度电（普通60W白炽灯17h耗1度电，普通10W节能灯100h耗1度电）。

（2）超长寿命。半导体芯片发光，无灯丝，无玻璃泡，不怕震动，不易破碎，使用寿命可达50000h（普通白炽灯使用寿命仅有1000h，普通节能灯使用寿命也只有8000h）。

（3）光线健康。光线中不含紫外线（UV）和红外线（IR），不产生辐射（普通灯光线中含有紫外线和红外线）。

（4）绿色环保。不含水银（汞）和氙等有害元素，利于回收和利用，而且不会产生电磁干扰（普通灯管中含有水银（汞）和铅等元素，节能灯中的电子镇流器会产生电磁干扰）。

（5）保护视力。直流驱动，无频闪（普通灯都是交流驱动，必然产生频闪）。

（6）安全系数高。所需电压、电流较小，发热较少，无安全隐患，可用于矿场等危险场所。

（7）市场潜力大。低压、直流供电，电池、太阳能供电即可，可用于边远山区及野外照明等缺电、少电场所。

（8）光效高、显色好。发光效率大于120lm/W，光谱窄，显色性好（Ra≥80或Ra≥95），对颜色呈现真实，更便于物体的识别。

商业照明领域中LED轨道灯、LED斗胆灯、LED天花灯、LED射灯、MR16（GU10）射灯、LED象鼻灯、LED筒灯的应用越来越广，COB光源越来越受人喜爱，高端COB光源的需求市场越来越大。

（9）维护成本低。相对于传统照明产品，LED照明产品维护成本极低，可采用模块化一体设计，局部故障不影响整个灯具的正常工作。

（10）快速响应。LED的响应时间很短（60ns），能按要求保证多个光源之间或一个光源不同区域之间的工作切换。采用专用电源给LED光源供电时，达到最大照度的时间小于10ms。

（11）无光污染。LED光源定向发光的特性便于控制光的分布（配光设计），保证理想的照明效果，同时消除了LED的眩光并极大提升了LED光能利用率，从而无光污染。

（12）光损低。灯具一体化设计，避免了光的重复浪费。

（13）色温可调。能满足不同应用对色温的需求，使观察者舒适感良好。目前可以通过相关的调光系统，实现色温与亮度的调节。

2．LED照明市场的现状

目前，LED发光效率高于白炽灯，并正以更快的速度拓展其多种应用范围，大尺寸液晶电视背光源、汽车、商业和工业用照明、家用电器、仪器仪表、消费电子都已逐步成为LED的主要应用领域。

在诸多企业和政府部门的努力下，我国 LED 产业已经初步形成珠江三角洲、长江三角洲、东南地区、北京与大连等北方地区四大区域，每一区域基本形成了比较完整的产业链。总体而言，我国的 LED 产业格局中南方产业化程度较高，而北方依托众多高校和科研机构，研发实力较强。在地域分布上，珠三角和长三角是国内 LED 产业最为集中的地区，集中了全国 80%以上的相关企业，也是国内 LED 产业发展最快的区域，其产业综合优势比较明显。与 LED 有关的设备及原材料供应商纷纷在这两个区域落户，与国际应用市场便捷的联系为 LED 产业的发展创造了良好的服务及市场环境，产业集群效应正在逐步显现。

在 LED 照明领域，形成了工程渠道与流通渠道，也有电商的参与，占据了 LED 行业的龙头地位，成为拥有行业样板工程最多的 LED 照明企业。目前国内 LED 企业有鸿利智汇、国星光电、雷士照明、欧普照明、三雄极光照明、亚明照明、佛山照明、欧司朗等。

未来我国将开展十大节能工程，其中绿色照明、推广高效节电照明系统将是一个重要内容。因此，作为继明火和白炽灯、荧光灯之后的第四次照明革命，全球范围内照明行业正在从传统照明技术向 LED 转型，LED 照明将会成为未来的发展趋势。LED 照明行业的路还很长，其发展前景会越来越好。目前国内 LED 照明都向智能照明方向发展，但产品质量良莠不齐。随着人们生活水平的提高，对 LED 照明灯具的需求越来越多，对 LED 照明灯具的要求也会越来越高。

3．LED 照明市场的前景

LED 的应用领域已经开始从手机小尺寸 TFT LCD 背光源，向中大尺寸 TFT LCD 屏背光源、汽车照明、装饰照明等多元化应用领域拓展。

除了上述应用之外，LED 在以下四类照明领域也极具发展潜力。

（1）便携式照明。消费类便携式照明包括手电筒、阅读灯及矿工灯等。目前来说，消费类便携式照明整体市场约 10 亿美元，其中手电筒占最大的市场份额，LED 在特殊及专业应用场合的手电筒渗透率将近 30%，主要是因为特殊及专业应用手电筒对价格敏感度相对较一般消费品低。若 LED 技术及价格能进一步改善，则未来将有机会进入一般照明用手电筒，进一步扩大其占有率。

（2）户外照明。LED 户外照明泛指高速公路、道路和隧道等区域照明设备，包括 LED 路灯、LED 街灯、停车场照明 LED 灯、LED 庭院灯、LED 投光灯，LED 泛光灯等。

（3）室内展示照明。室内展示照明包括装饰照明，如室内射灯、壁灯等。灯光照明用于辅助突出强化商业展示空间，而商业展示空间也是利用灯光照明来强化主体的。零售展示用照明领域全球 2007 年营收约占整体市场的 6%。在展场中，零售展示用照明不但需要较大的光照范围，更需要能呈现出产品特色的光源，因为展示产品种类众多，所以如何利用不同的照明呈现出产品与众不同的特色是一门重要的学问。LED 从 2006 年开始进入零售、展示等照明领域，其主要优点包括：

☺ 寿命长，可降低维修成本；

☺ 光的颜色、色温、显色指数可变，可以依被照体不同选择不同的光源，大大提升了展示的美学效果；

☺ 光线中缺少红外光及紫外光，可避免破坏产品本身；

☺ 成本较光纤低，效率较白炽灯泡高，色彩呈现较荧光灯好。

（4）家居照明。家居照明包括 LED 筒灯、LED 射灯、LED 吊灯、LED 日光灯、LED 球泡灯、LED 吸顶灯、LED 面板灯等，家居照明是一个巨大的潜在市场。但是家居照明消费者对于价格敏感度较高，而目前 LED 价格已经大幅度下降，因此 LED 在家居照明领域的应用越来越多，进入了普通家庭。

3.2 LED 照明灯具系统组合

LED 照明灯具系统组合如下。

（1）LED 背光源。近年来，背光源发展很快，不断有新技术、新产品推出，LED 背光逐步进入产业化，有了一定的规模，相比冷阴极荧光灯（CCFL），LED 有着明显的节能优势。随着便携电子产品日趋小型化，LED 背光源更具优势，因此 LED 背光源制作技术将向更薄型、低功耗和均匀一致的方向发展。

（2）LED 显示屏。LED 显示屏通过控制半导体发光二极管的显示方式（其大概的样子就是由很多个通常是红色的发光二极管组成），靠灯的亮灭来显示字符。可作为显示文字、图形、图像、动画、行情、视频、录像信号等各种信息的显示屏幕。目前超高亮度 AlGaInP、TS-AlGaAs、InGaN LED 已能够提供明亮的红、黄、绿、蓝等各种颜色，可完全满足全色大屏幕显示的要求。室内屏有 P1.58、P1.9、P2.0、P2.5、P3、P4、P5、P6、P7.62、P8、P10 等，户外屏有 P10、P12.5、P16、P20、P25、P31.25 等。

（3）太阳能 LED 灯具。随着地球资源的日益贫乏、基础能源的投资成本日益攀高、各种安全和污染隐患的无处不在，太阳能作为一种“取之不尽、用之不竭”的安全、环保新能源越来越受到重视。同时，随着太阳能光伏技术与 LED 技术的发展和进步，太阳能 LED 灯具产品在环保节能上的双重优势，使其在太阳能 LED 路灯、太阳能 LED 庭院灯、太阳能 LED 草坪灯、太阳能 LED 壁灯等方面的应用已经逐渐形成规模。

（4）交通 LED 信号灯。超高亮度 LED 现已广泛用于交通信号灯、警示灯、标志灯等，市场广阔，需求量增长很快。LED 交通信号灯与白炽灯相比，工作寿命较长，一般可达到 10 年。目前超高亮度 AlGaInP 红、橙、黄色 LED 等 LED 光源已实现产业化，价格也越来越便宜。

（5）LED 景观照明。 LED 景观照明的目标是使景观照明与景观协调，因“景”制宜，因建筑特色制宜，达到美化环境的新水平。通过智能化数字控制器实现色彩的追逐、扫描、渐变与闪变等变化效果，具有强大的环境影响力。

（6）汽车用 LED 灯。超高亮度 LED 用于汽车指示灯，在汽车工业中有着广泛的市场。目前车用 LED 可分为汽车外部及内部应用，内部包括仪器仪表板、空调音响等指示灯及内部阅读灯；外部使用则包括第三制动灯、尾灯、方向灯、侧灯等。目前除汽车头灯因距离与亮度等问题只有少量使用外，汽车内外部照明采用 LED 已很普遍。

（7）其他应用。包括玩具、闪光鞋、电动牙刷的电量指示灯、LED 圣诞灯中的应用。

3.3 LED 灯具设计需注意的几个问题

LED 照明灯具工作环境比较复杂，受温度、紫外线、湿度、雨水、沙尘、化学气体等自然条件的影响，时间一长，就会出现 LED 光衰的严重问题。在设计 LED 户外照明灯具时，应考虑外部环境因素对 LED 户外照明灯具的影响。

1．散热材料与灯罩选择

在户外使用的 LED 照明灯具，一般选用铝或铝合金、铜或铜合金，以及导热良好的其他合金。一般情况下将外壳和散热器设计为一体。散热方式有空气对流散热、强风冷却散热和热管散热。散热方式的选择对灯具的成本有直接影响，应综合考虑，与设计产品配套而选出最佳方案。

目前，灯罩材料有透明有机玻璃、PC 等，一般来说，户外灯具的灯罩大部分是玻璃制品，可以减小户外阳光、紫外线、沙尘、化学气体、昼夜温差变化等因素对灯罩老化、寿命减短等的影响。但不易清洁干净，降低了灯罩透明度而影响其光线输出。采用透明塑料、有机玻璃等材料做的灯罩，用于室内灯具较好。

2．LED 芯片的封装技术

目前国内 LED 灯具大都采用 1W 或 1～3W 及中功率的 LED，对多个 LED 灯串并联或混联进行组装，其热阻较大，封装技术不先进，不容易造出高品质的灯具。采用多个 LED 设计一个光源模组，甚至设计出更大的光源模组进行组装，以达到所需要的功率。目前常用的有 LED 路灯、隧道灯及 UFO 工矿灯。LED 的封装材料一般是环氧树脂或硅胶。这两种材料有很大的区别，环氧树脂封装耐温较差，易老化；硅胶封装则耐温较好，使用时应注意选择。

采用多芯片与散热器整体封装比较好，或采用铝基板多芯片封装，再通过相变材料或散热硅脂与散热器相连接，其热阻比用 LED 器件组装的产品的热阻要小，更利于散热。采用 LED 模组的灯具，模组基板一般为铜基板，它与外散热器的连接要使用好的相变材料或好的散热硅脂，以保证铜基板上的热量能及时传到外散热器上去。

3．LED 灯具散热器设计

散热器是 LED 灯具很关键的一个部件，它的形状、体积、散热表面积都要设计得恰到好处，散热器太小，LED 灯工作温度太高，则影响发光效率和寿命；散热器太大，则消耗材料，增加产品成本和质量，使产品竞争力下降。

（1）明确 LED 灯需要散热的功率。

（2）设计散热器参数，如金属的比热、金属的导热系数、芯片热阻、散热器热阻、周围环境空气热阻等。



压铸材料为 ADC10 和 ADC12。温升越低散热器越好，设计时要选择好的散热器。

（3）确定散热的类型（自然对流散热、强风冷却散热、热管散热，以及其他的散热方式）。从造价上比较，自然对流散热造价最低，强风冷却中等，热管散热造价较高，喷气致冷造价最高。

（4）确定 LED 灯具许可的最高工作温度（环境温度加灯具许可温升），计算散热器的体积、散热面积，并确定散热器的形状。

通常设计或选择合理散热体（散热外壳），采用适当散热方式，将 LED 照明灯具外壳温度控制在设计范围内，这样可以降低 LED 光源结温温度，使其在规格书要求的范围内，提高 LED 光源寿命。

（5）将散热器与 LED 灯组合成完整灯具，并通电工作 8h 以上，在室温 25℃、湿度 90%RH 的环境下检查灯具的温度，看是否满足散热要求，以检验计算是否正确。如不满足使用条件，则要重新计算和调整参数。

在设计时要求 LED 照明灯具功率、光通量、光效、色温、显色性、光束角、灯具效率等达到设计要求，耐压测试、绝缘电阻试验、泄漏电流测量、爬电距离与电气间隙、电磁与辐射等安规要求达到国家标准。

（6）散热器与灯罩的密封要做到防水、防尘，灯罩与散热器之间要垫抗老化的橡皮垫或硅橡胶垫，用不锈钢螺栓紧固，做到密封防水、防尘。

3.4 LED 照明设计需要注意的技术细节

LED 灯具的高节能、长寿命、利环保的优越性能获得普遍认可。

1．LED 光源的工作特点

照明用 LED 光源的 V_F 电压都很低，一般 V_F 为 2.8～3.5V，I_F 为 20～1050mA；因此 LED 驱动 IC 的输出电压是 $V_F \times N$ 或 $V_F \times 1$，I_F 恒流在 20～1050mA。LED 灯具使用的 LED 光源有小功率（I_F=15～20mA）、中功率（$I_F \leqslant$150mA）、大功率（$I_F >$300mA）三种，小功率或中功率的 LED 多用来生产 LED 日光灯、LED 球泡灯、LED 筒灯、LED 景观灯、LED 吸顶灯、LED 装饰灯；大功率 LED 用来生产家庭商业照明灯、LED 射灯、LED 水底灯、LED 洗墙灯、LED 路灯、LED 隧道灯、汽车 LED 工作灯等。大功率 LED 光源是低电压、大电流驱动的器件，其发光强度由流过 LED 的电流大小决定，电流过强会引起 LED 光的衰减，电流过弱会影响 LED 的发光强度，因此，LED 的驱动需要采用恒流电源，以保证大功率 LED 使用的安全性，同时达到理想的发光强度。在 LED 照明领域，要体现出节能和长寿命的特点。选择好 LED 驱动芯片（IC）至关重要，没有好的驱动芯片（IC）的匹配，LED 照明的优势将无法体现。

2．LED 灯具对低压驱动芯片的要求

（1）驱动芯片的标称输入电压范围应当满足 DC 8～40V，以满足实际应用的要求，耐压最好能超过 45V；当输入电压为 AC 12/24V 时，由整流二极管组成的桥式整流器输出电压会随电网电压波动而波动（如输入电压偏高时输出直流电压也会偏高），如驱动芯片（IC）不能适应宽电压范围工作，则往往在电网电压升高时，驱动芯片（IC）会被击穿，LED 光源也会损坏甚至烧毁。

（2）驱动芯片的标称输出电流要求大于 1.2～1.5A，作为照明用的 LED 光源，1W LED 标称工作电流为 350mA，2W LED 标称工作电流为 700mA、 3W LED 标称工作电流为 1050mA，LED 功率越大，标称工作电流越大。LED 照明灯具选用的驱动芯片（IC）必须有足够大的电流输出，设计产品时必须使驱动芯片（IC）输出电流在满载输出的 70%～90%的范围内。因为如果满载工作的话，驱动芯片（IC）在灯具的狭小空间中容易散热不畅，会产生疲劳和早期失效现象。

（3）驱动芯片的输出电流必须恒流输出，LED 光源才能稳定工作，不会产生闪烁的现象；同一批号的驱动芯片在同等条件下使用时，其输出电流大小要尽可能一致，即离散性要小，这样在大批量生产时才能有效和有序；对于输出电流有一定离散性的驱动芯片，则芯片生产商必须在出厂前分挡，如果没有分挡，电源生产商只能调整驱动芯片（IC）上取样电阻（R_s）的阻值大小，使生产的 LED 灯具恒流源对同类 LED 光源的发光亮度一致，保证产品的一致性。

（4）驱动芯片的封装应有利于驱动芯片管芯的快速散热。例如，将管芯直接绑定在铜板上，并有一个引脚直接延伸到封装外，便于直接焊接在 PCB 的铜箔上迅速导热。又如，在一个类似 4mm×4mm 的硅片管芯上，要长时间通过 300～1000mA 的电流，必然有功耗，必然会发热，所以芯片本身的物理散热结构也是至关重要的。

（5）选择驱动芯片本身具有抗 EMI、噪声、耐高压的能力，因为关系到整个 LED 灯具产品能否顺利通过 CE、UL 等认证，因此驱动芯片本身在设计伊始就要选用优秀的拓扑结构和高压的生产工艺，来保证驱动芯片的质量。

（6）驱动芯片自身功耗要求小于 0.5W，开关工作频率要求大于 120Hz，以免工频干扰而产生可见闪烁。

LED 绿色照明促使驱动芯片向创新设计方向发展，LED 灯具照明离不开驱动芯片，因此需要多种功能的 LED 光源驱动 IC。LED 灯具选用 36V 以下的交流电源时可以考虑非隔离供电，如选用 AC 220V 和 AC 110V 的交流电源则应考虑隔离供电。直接使用 AC 100～220V 的驱动芯片时，因应用体积苛求，在技术上还有更高的要求、更大的难度，目前各国都在努力开发中。

3.5 LED 散热器的选择

LED 作为新一代安全可靠、节能环保的绿色光源，具有耗电量少、发光效率高、稳定性好和寿命长等众多优点，是目前照明产品中的热点产品。但 LED，特别是大功率 LED 的研发还面临着一个比较重大的课题，即如何更好地解决大功率 LED 的散热问题。在 LED 中

有 80%的能量转换为热能，如果其热量不能很好地散发出来，则 LED 的相对初温率就会呈线性下降趋势，进而影响到 LED 的可靠性和使用寿命。因此，解决散热问题，成为大功率 LED 发展的一个关键所在。

目前，大功率 LED 的驱动电流都能达到 300mA 甚至 1A 级以上。根据上述 LED 器件的散热环节，应从以下几方面解决大功率 LED 的散热问题。

（1）LED 产生热量的多少取决于内量子效应。在氮化镓材料的生长过程中，应改进材料结构，优化生长参数，获得高质量的外延片，提高器件内量子效率，从根本上减少热量的产生，加快芯片结到外延层的热传导。

（2）选择以铝基为主的金属芯印制电路板（MC-PCB）、陶瓷、DBC、复合金属基板等导热性能好的材料作为衬底，以加快热量从外延层向散热基板散发。通过优化 MC-PCB 的热设计，或将陶瓷直接绑定在金属基板上形成金属基低温烧结陶瓷（LTCC-M）基板，以获得热导性能好、热膨胀系数小的衬底。

（3）为了使衬底上的热量更迅速地扩散到周围环境，通常选用铝、铜等导热性能好的金属材料作为散热器，再加装风扇和回路热管等强制制冷。无论从成本还是外观的角度来看，LED 照明都不宜采用外部冷却装置，因此根据能量守恒定律，利用压电陶瓷作为散热器，把热量转化成振动方式直接消耗热能将成为未来研究的重点之一。

（4）对于大功率 LED 器件而言，其总热阻是 PN 结到外界环境热路上几个热沉的热阻之和，其中包括 LED 本身的内部热沉热阻、内部热沉到 PCB 之间的导热胶的热阻、PCB 与外部热沉之间的导热胶的热阻、外部热沉的热阻等。传热回路中的每一个热沉都会对传热造成一定的阻碍，因此经过长期研究认为，减少内部热沉数量，并采用薄膜工艺将必不可少的接口电极热沉、绝缘层直接制作在金属散热器上，能够大幅度降低总热阻。这种技术有可能成为今后大功率 LED 散热封装的主流方向。

目前主要用到的散热方法如下。

（1）简式鳍片法。简式鳍片法是目前经常使用的方式，其缺点是效率低，散热能量有限。

（2）传统的主动式散热法。传统的主动式散热法主要是使用风扇进行强制的对流，其散热效果比较好，但是需要额外的功耗，因此系统的可靠性、稳定性下降，而且受恶劣环境的影响，它的性能也会发生变异。这种方案应用得比较少。

（3）传统的热管技术。传统的热管技术主要是使用热管，其散热比较好，但是会导致成本增加，目前使用得也不多。

（4）薄壁腔式散热。采用薄壁腔式的散热片，将散热片腔内的空气在受热的状态下，沿腔内形成低端向高端的空气流动，可以迅速将腔内的热量排出。由于散热片外表面与空气直接接触，可以直接将热量散出。由于散热片的壁较薄，热量不易在片内聚集。

通过改进 LED 的结构材料可以较好地解决 LED 的散热问题。首先根据散热的要求计算出灯具不同的功率所需要灯具散热的表面体，得出一个散热的结果；然后进行灯具在结构方面的设计，包括磁片的高度、宽度等，灯具的尺寸等也要进行特殊的设计。

随着功率的不断加大，灯具散热的需求也会不断增加。新型热管技术是未来的一个发展趋势。作为传统热管技术的延伸，新型热管技术也是依靠液体相变实现换热的，其传热能力较烧结热管提高 20%～30%，具有传热效率高、结构简单、成本低、适应性好、热运输距离

远等特点，是解决大功率 LED 灯散热问题最为有效的解决方案。

1．如何减小 LED 的热阻值

对于一个 LED 管，设法降低 PN 结与应用环境的热阻是提高器件散热能力的根本途径。由于环氧胶是低热导材料，因此 PN 结处产生的热量很难通过透明环氧向上散热到环境中去，大部分热量通过衬底、银浆、管壳、环氧黏结层、PCB 与热沉向下发散。显然，相关材料的导热能力将直接影响器件的热阻与散热性能。

表 3-1、表 3-2 列出了若干常用的衬底与热沉材料的热导系数。银浆与环氧的数据未在表中列出，其热导系数分别为 20～30W/m · K 与 15～25W/m · K。知道了材料的热导系数，即可根据下式计算热阻值：

$$R_\theta = h/\rho S \tag{3-1}$$

式中，ρ为物体的热导系数，单位为 W/m · K；S 为物体截面面积，单位为 m^2；h 为热导路径上两个节点间的距离，单位为 m。

表 3-1　LED 衬底材料的热导系数

材　　料	Si	Al_2O_3	GaAs	SiC
热导系数（W/m · K）	75	25	18	49

表 3-2　常用热沉材料的热导系数

材　　料	碳铜	黄铜	铝合金	金	银	锡	锌	纯铜	纯铝	纯铁
热导系数（W/m · K）	36.7～39.2	109	162	315	427	427	121	398	236	81.1

显然，为减小 LED 的总热阻，应设法减小芯片 PN 结到环境之间的距离，增大散热通道面积及采用高热导的材料。由于 LED 的衬底材料 GaAs、蓝宝石，以及环氧、银浆与黏结剂均是一些低热导的材料，所以为减小热阻，近年来相继开发了去除 GaAs 衬底、采用倒装结构以及改用金属直接替代胶结等新技术。目前这些技术逐渐成熟，并大量投入生产。

由表 3-2 可知，纯铜与纯铝是两种具有极高热导的、适于制造 LED 支架与热沉的材料。材料确定后，散热通道的截面积与散热片表面积的大小即决定了器件的总热阻。散热面积越大，热阻越低。另外，通过风扇产生气体强制交换，也是减小热阻的有效途径。

2．常用的热阻测试方法

根据 LED 的热阻公式：

$$R_\theta = \Delta T/W \tag{3-2}$$

式中，$\Delta T = T - T_{环境}$；W 为输入电功率，一般情况下，$W = V \times I$，其中 V 是外加电压，I 为正向电流。

由于 $T_{环境}$是可以测得的，W 也可以通过计算求得，因此只要测出 PN 结温度 T，就可以求得 LED 的总热阻值 R_θ。一个简单而直接的办法是采用微型热偶或红外测温显微镜，直接测得 LED 芯片表面的温度，并将此温度视为芯片结温。然而，此方法显然有些粗糙，并且对于一个现成的 LED 管难以直接测量芯片表面的温度。通常可利用确定电流下的正向偏压

与结温之间正比变化的关系来判定 LED 的结温。

根据 PN 结的电流公式，LED 的 V_F 可以表示为

$$V_F=KT/q\times[\ln I_F/I_F(0)]=KT/q\times C \tag{3-3}$$

式中，$C=\ln I_F/I_F(0)$，当 I_F 为常数（即恒流情况下）时 C 为常数。对式（3-3）求温度 T 的导数得

$$\mathrm{d}V_F/\mathrm{d}T=k/q\times C \tag{3-4}$$

对一个 LED 来讲，式（3-4）是线性关系，大量测试证明 LED 的 V_F 温度系数为 $\mathrm{d}V_F/\mathrm{d}T\approx(-2\sim-1.8)\mathrm{mV/℃}$ 范围内的负温度系数，基本上是一个可预知的数。一般可取 $\mathrm{d}V_F/\mathrm{d}T=-2\mathrm{mV/℃}$，作为工程近似计算数值。

在被测 LED 上施加不足以引起 PN 结温升的恒定较小的电流（如 I_F=1mA），并将被测 LED 放置在温度可调节的恒温槽（或箱）内测出不同 T_j 下的 V_F 值，可以发现它符合式（3-4）的规律。

被测 LED 在 T_j=100℃时，其 V_F=1.7V；在 20℃时，其 V_F=1.7V。

可以对被测 LED 在常温下施加足够大的电功率 P_o，使其温升提高，当达到温度平衡时，快速切断电功率，并转换成 I_F 在小电流状态，迅速测出其 V_F。例如，测得 V_F=1.70V 则可以知道，在功率 P_o 下，LED PN 结温升达到 100℃时，P_o 作用下温度从常温 25℃上升到 T_j=100℃。于是可以计算出 LED PN 结到空气之间的热阻（总热阻）。假设 P_o=1W，有

$$R_0=\Delta T_j/P_o=(100℃-25℃)/1\mathrm{W}=75℃/\mathrm{W}$$

以上就是测量热阻的一个更为常用的方法。

3．结温对 LED 光输出的影响

实验指出，LED 的光输出均明显依赖于器件的结温。当 LED 的结温升高时，器件的输出光强度将逐渐减小；而光结温下降时，光输出强度将增大。

表 3-3 列出了相对于 25℃而言，100℃结温时不同波长响应的 InGaAlP 与 InGaN LED 的光输出通量的相对变化值。这种变化的数字表达式为

$$\Phi_v(T_2)=\Phi_v(T_1)\mathrm{e}^{-k\Delta T} \tag{3-5}$$

式中，$\Phi_v(T_2)$与$\Phi_v(T_1)$分别表示结温 T_2 与 T_1 时的光通量输出；k 为温度系数；$\Delta T=T_2-T_1$。一般情况下，k 值可由实验测定，对于 InGaAlP LED，k 值约为 1×10^{-2}，并随发光波长的变短略有增加。式（3-6）指出了光输出通量结温变化的另一种表示形式：

$$\Phi T_2=\Phi T_1\mathrm{e}^{-(T_2-T_1/T_0)} \tag{3-6}$$

表 3-3　100℃结温时相对于 25℃结温 LED 光通量的相对变化

LED 材料		Φ（100℃）/Φ（25℃）
InGaAlP	590nm	20%
	620nm	30%
	640nm	42%
InGaN	绿	70%
	青	80%
	蓝或白	90%

这里 T_0 表示一种特征温度，T 值与材料有关。实验指出，对于红色的 InGaAlP LED，T_0=85℃；对于琥珀色 InGaAlP LED，$T_0 \approx 55$℃。而对于 InGaN LED，T_0 值约为 840℃，表明 InGaN 器件的温度系数远小于发红、黄光的 InGaAlP 器件，也即光通量随温度增加而减小的速率比 InGaAlP 小得多。

一般情况下，光输出通量随结温的增加而减小的效应是可逆的，也即当温度回复到初始温度时，光输出通量会有一个恢复性的增长。这种效应的发生机制显然是由于材料的一些相关参数会随温度变化，从而导致器件参数的变化。如随温度的增加，电子与空穴的浓度会增加，禁带宽度会变小，电子迁移率也将减小，必定引起器件输出光通量的改变。然而当温度恢复至初态时，器件参数的变化也将随之消失，输出光通量也会回复至初态值。

4．LED 的正向电压与结温之间的关系

正向电压是判定 LED 性能的一个重要参量，其数值取决于半导体材料的特性、芯片尺寸，以及器件的成结与电极制作工艺。相对于 20mA 的正向电流，通常 InGaAlP LED 的正向电压为 1.8～2.2V，而发蓝、绿光的 InGaN LED 的正向电压为 3.0～3.5V。在小电流近似下，LED 器件的正向压降由式（3-7）表示：

$$V_1=(nkT/q)\ln(I_1/I_0)+R_sI_f \tag{3-7}$$

式中，V_1 为正向电压；I_f 为正向电流；I_0 为反向饱和电流；q 为电子电荷；k 是玻耳兹曼常数；R_s 是串联电阻；n 是表征 PN 结完美性的一个参量，为 1～2。

分析式（3-7）发现，只是反向饱和电流 I_0 与温度密切相关，I_0 值随结温的升高而增大，导致正向电压 V_1 值下降。实验指出，在输入电流恒定的情况下，对于一个确定的 LED 器件，正向压降与温度的关系可由式（3-8）表示：

$$V_{fT}=V_{fT0}+K(T-T_0) \tag{3-8}$$

式中，V_{fT} 与 V_{fT0} 分别表示结温为 T 与 T_0 时的正向压降；K 是压降随温度变化的系数。对于 InGaAlP 与 InGaN LED，其 K 值见表 3-4。

表 3-4　InGaAlP 与 InGaN LED 的电压温度系数

器　件	颜　色	K	单　位
InGaAlP	红	–2	mV/℃
	琥珀		
InGaN	绿	–2	mV/℃
	绿蓝		
	蓝		
	深蓝		
	白		

温度的变化是可恢复的，但在高温情况下，由于结区缺陷与杂质的大量增殖与集聚，将造成额外复合电流的增加，而使正向电压下降，甚至出现恶性循环。通常，恒流是 LED 工作的较好模式。如在恒压条件下，温升效应将使正向电压下降与正向电流增加，并形成恶性循环，最终导致器件损坏。

3.6 LED光学透镜的选择

LED透镜，即与LED紧密联系在一起的有助于提升LED的出光效率、改变LED的光场分布的光学系统。本书着重讲解用于大功率LED的二次聚光透镜，如图3-1所示。



图3-1 用于大功率LED的二次聚光透镜

1．LED透镜的材料种类

1）硅胶透镜

☺ 硅胶耐温高（也可以过回流焊），因此常直接封装在LED芯片上。

☺ 一般硅胶透镜体积较小，直径为3～10mm。

2）PMMA透镜

☺ 光学级PMMA（聚甲基丙烯酸甲酯，俗称亚克力）。

☺ 塑胶类材料，优点是生产效率高（可以通过注塑、挤塑完成），透光率高（3mm厚度时穿透率为93%左右）；缺点是温度不能超过80℃（热变形温度92℃）。

3）PC透镜

☺ 光学级料PC（Polycarbonate），聚碳酸酯。

☺ 塑胶类材料，优点是生产效率高（可以通过注塑、挤塑完成），透光率稍低（3mm厚度时穿透率为89%左右）；缺点是温度不能超过110℃（热变形温度135℃）。

4）玻璃透镜

☺ 光学玻璃材料，优点是透光率高（97%），耐高温。

☺ 缺点是体积大、质量大、形状单一、易碎、批量生产不易实现、生产效率低、成本高等。不过目前此类生产设备的价格高昂，短期内很难普及。此外，因玻璃较PMMA、PC易碎的缺点，故还需要更多的研究与探索。以现在可以实现的改良工艺来说，只能通过镀膜或钢化处理来提升玻璃的不易碎特性。虽然经过这些处理，玻璃透镜的透光率会有所降低，但依然会远远大于普通光学塑料透镜的透光效果。所以玻璃透镜的前景将更为广阔。目前主要在LED路灯上使用。

2．LED透镜的应用分类

1）一次透镜

☺ 一次透镜直接封装（或黏合）在LED芯片支架上，与LED成为一个整体。

☺ LED芯片理论上发光是360°，但实际上芯片是放置于LED支架上得以固定及封装的，所以芯片最大发光角度是180°（大于180°范围也有少量余光）。另外，芯片还会有一些杂散光线，这样通过一次透镜就可以有效会聚芯片的所有光线并可得到如180°、160°、140°、120°、90°、60°等不同的出光角度，但是不同的出光角度LED的出光效率有一定的差别（一般的规律是，角度越大效率越高）。

☺ 一次透镜一般用PMMA、PC、光学玻璃、硅胶等材料。



PMMA 英文全称（Polymethyl Methacrylate），中文学名：聚甲基丙烯酸甲酯，又称“亚克力”、“有机玻璃”。

2）二次透镜

☺ 二次透镜与 LED 是两个独立的物体，但它们在应用时密不可分。

☺ 二次透镜的功能是将 LED 光源的发光角度再次会聚成 5° ～160° 内的任意角度，光场的分布主要为圆形、椭圆形和矩形。

☺ 二次透镜材料一般用光学级的 PMMA 或 PC；在特殊情况下也可选择玻璃。

3．LED 透镜规格分类

1）穿透式（凸透镜）

☺ 当 LED 光线经过透镜的一个曲面（双凸的有两个曲面）时光线会发生折射而聚光，而且当调整透镜与 LED 之间的距离时角度也会变化（角度与距离成反比），经过光学设计的透镜光斑将会非常均匀。但由于透镜直径和透镜模式的限制，LED 的光利用率不高，光斑边缘有比较明显的黄边。

☺ 一般应用在大角度（50° 以上）的聚光，如台灯、吧灯等室内照明灯具。

2）折反射式（锥形或杯形）

☺ 在正前方用穿透式聚光，而锥形面又可以将侧光全部收集并反射出去，这两种光线的重叠（角度相同）就可得到最完善的光线利用与漂亮的光斑效果。

☺ 也可在锥形透镜表面做些改变，可设计成镜面、磨砂面、珠面、条纹面、螺纹面、凸或凹面等而得到不同的光斑效果。

3）透镜模组

☺ 将多个单颗透镜通过注塑完成一个整体的多头透镜，按不同需求可以设计成 3 合 1、5 合 1 甚至几十颗合 1 的透镜模组；也可以把两个单独的透镜通过支架组合在一起。

☺ 此设计有效节省生产成本，实现产品品质的一致性，节省灯具机构空间，更容易实现“大功率”等。

3.7 LED 封装与产品规格书

3.7.1 LED 封装

1．LED 封装技术

LED 封装技术大都是在分立器件封装技术基础上发展与演变而来的，但却有很大的特殊性。一般情况下，分立器件的管芯被密封在封装体内，封装的作用主要是保护管芯和完成电气互连。而 LED 封装则是完成输出电信号、保护管芯正常工作、输出可见光等，既有电参数，又有光参数的设计及技术要求，无法简单地将分立器件的封装用于 LED。LED 的核

心发光部分是由P型和N型半导体构成的PN结管芯，当注入PN结的少数载流子与多数载流子复合时，就会发出可见光、紫外光或近红外光。但PN结区发出的光子是非定向的，即向各个方向发射，因此，并不是管芯产生的所有光都可以释放出来，这主要取决于半导体材料的质量、管芯结构及几何形状、封装内部结构与包封材料等。

进入21世纪后，LED的高效化、超高亮度化、全色化不断发展创新，红、橙、绿、蓝LED光效已达到50lm/W，单只白LED的光通量也达到120lm/W以上。LED芯片和封装不再沿袭传统的设计理念与制造生产模式，在增加芯片的光输出方面，不仅仅限于改变材料内杂质数量、晶格缺陷和位错来提高内部效率，同时，如何改善管芯及封装内部结构，增强LED内部产生光子出射的概率，提高光效，解决散热、取光和热沉优化设计，改进光学性能，加速表面贴装化SMD进程更是产业界研发的主流方向。

2．产品封装结构类型

LED的上、中游产业受到前所未有的重视，进一步推动下游的封装技术及产业发展。采用不同的封装结构形式与尺寸，不同发光颜色的管芯及其双色或三色组合方式，可生产出多种系列，不同品种、规格的产品。单个管芯一般构成点光源，多个管芯组装一般可构成面光源和线光源，用于信息、状态指示及显示。发光显示器也是通过多个管芯的适当连接（包括串联和并联）与合适的光学结构组合而成，构成发光显示器的发光段和发光点。表面贴装LED正逐渐替代引脚式LED，并已在LED市场中占有一定的份额。固体照明光源有部分产品上市，成为今后LED的中、长期发展方向。

（1）引脚式封装。LED引脚式封装采用引线架作为各种封装外形的引脚，是最先研发成功并投放市场的封装结构，品种数量繁多，技术成熟度较高，封装内结构与反射层仍在不断改进。标准LED被大多数客户认为是目前显示行业中最方便、最经济的解决方案，典型的传统LED安置在能承受0.1W输入功率的包封内，其90%的热量是由负极的引脚架散发至PCB，再散发到空气中的，因此如何降低工作时PN结的温升是封装与应用必须考虑的问题。包封材料多采用高温固化环氧树脂，其光性能优良，工艺适应性好，产品可控性高，可做成有色透明（或无色透明）和有色散射（或无色散射）的透镜封装。不同的透镜形状构成多种外形及尺寸，例如，圆形按直径分为ϕ2mm、ϕ3mm、ϕ4.4mm、ϕ5mm、ϕ7mm等数种，环氧树脂的不同组分可产生不同的发光效果。

（2）表面贴装封装。2002年，表面贴装封装的LED（SMD LED）逐渐被市场所接受，并获得一定的市场份额。从引脚式封装转向SMD符合整个电子行业的发展大趋势，很多生产厂商推出此类产品。

早期的SMD LED大多采用带透明塑料体的SOT-23改进型，外形尺寸为3.04mm×1.11mm，卷盘式容器编带包装。在SOT-23的基础上，研发出带透镜的高亮度SMD的SLM-125系列及SLM-245系列LED，前者为单色发光，后者为双色或三色发光。近些年，SMD LED成为一个发展热点，很好地解决了亮度、视角、平整度、可控性、一致性等问题，采用更轻的PCB和反射层材料，在显示反射层需要填充的环氧树脂更少，并去除较重的碳钢材料引脚，通过缩小尺寸、降低质量，可轻易地将产品质量减轻一半，最终使应用更趋完美，尤其适合户内、半户外全彩显示屏应用。

焊盘是散热的重要渠道，厂商提供的 SMD LED 的数据都是以 4.0mm×4.0mm 的焊盘为基础的，采用回流焊可设计成焊盘与引脚相等。

（3）功率型封装。LED 芯片及封装向大功率方向发展，在大电流下产生比ϕ5mm LED 大 10～20 倍的光通量，所以必须采用有效的散热与不劣化的封装材料解决光衰问题，因此，管壳及封装也是其关键技术，能承受数瓦功率的 LED 封装已出现。

功率型 LED 的热特性直接影响到 LED 的工作温度、发光效率、发光波长、使用寿命等，因此，功率型 LED 芯片的封装设计、制造技术显得尤为重要。

3.7.2 LED 产品规格书

常用 LED 封装所介绍的 LED 都是白光，其工作要求如下：白光 LED 光源反向测试电压不能大于 5V，否则有损坏 LED 光源的风险；白光 LED 光源为正向驱动器件，正常工作下不能接反向电压。本节所介绍的 LED 规格书内容都在后续中用到，主要介绍常用 LED 的封装规格及相关知识。

1．3528 封装的 LED 规格书

本产品主要作为信号指示及照明的电子元件，广泛应用于各类使用表面贴装结构的电子产品及各类室内外的装饰照明。

1）极限参数（温度=25℃） 具体见表 3-5。

表 3-5 3528 极限参数

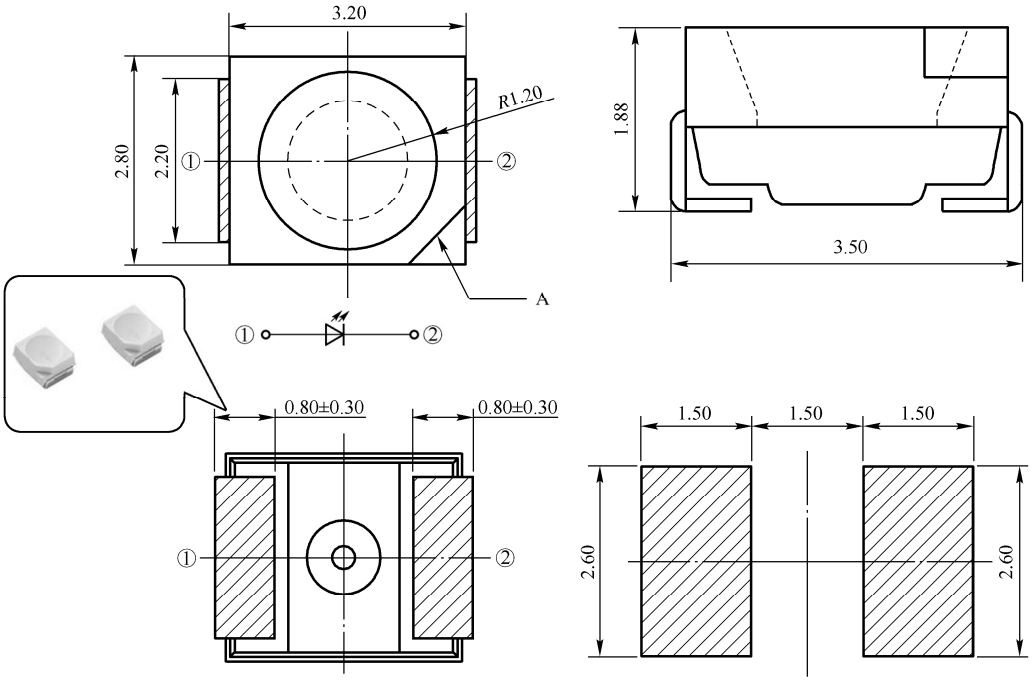
参数名称 Parameter	符号 Symbol	数值 Rating	单位 Unit
正向电流 Forward Current	I_F	20	mA
正向脉冲电流 Pulse Forward Current	I_{FP}	100	mA
反向电压 Reverse Voltage	V_R	5	V
工作温度 Operating Temperature	T_{OPR}	−30～+85	℃
储存温度 Storage Temperature	T_{stg}	−40～+100	℃
功耗 Power Dissipation	P_D	60	mW

2）光电参数（温度=25℃） 具体见表 3-6。

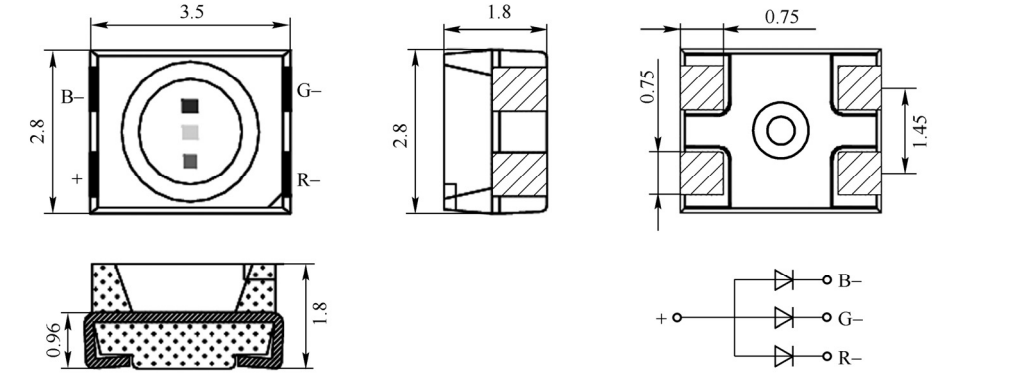
表 3-6 3528 光电参数

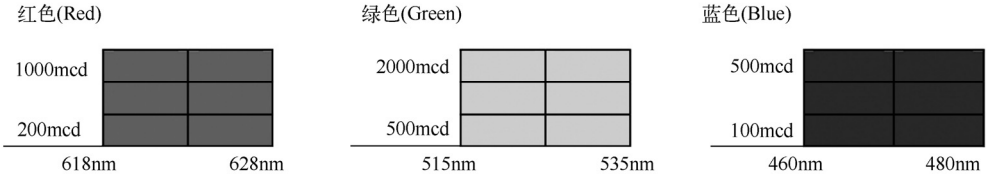
参数名称 Parameter	符号 Symbol	条件 Condition	最小值 Min.	典型值 Typ.	最大值 Max.	单位 Unit
反向电流 Reverse Current	I_R	V_R=5V			50	μA
正向电压 Forward Voltage	V_F	I_F=20mA	2.8	3.2	3.6	V
色度坐标 Chromaticity Coordinates	X			0.28		
	Y			0.28		
色温 Color Temperature	CCT			10000		K
光强 Luminous Intensity	I_V			3000		mcd
视角度 View Angle	$2\theta_{1/2}$			110		deg

3）3528 封装的外形与封装尺寸　具体见图 3-2。



（a）3528封装的外形与封装尺寸





电压级别(VF BIN)

红色(Red)

项目Items	最小值Min.	最大值Max.
电压(V_F)	1.6	2.4

绿色、蓝色(Green、Blue)

项目Items	最小值Min.	最大值Max.
电压(V_F)	2.8	3.6

（b）RGB3528（三合一）封装的外形与封装尺寸

图 3-2　3528 封装的外形与封装尺寸



- ☺ 回流焊接最多只能进行一次，在焊接时不要在灯体上施加任何压力。焊接完后 PCB 不要马上包起来，要让 PCB 和 SMD LED 产品自然散热后再进行包装。
- ☺ 为了防止在运输和储存过程中湿气侵入到 SMD LED, SMD LED 必须用防潮袋密封包装。包装时要在里面放入干燥剂和一张湿度卡。湿度卡上的湿度显示可以提供包装袋内的湿气程度。
- ☺ 在温度<40℃和湿度<90%RH 环境下存储时间不超过 6 个月，当存储时间超过规定的 6 个月时则须重新烘烤。
- ☺ SMD LED 放入烤炉中在温度为 80 ± 5℃且相对湿度≤10%RH 的条件下烘烤 24h，烘烤时需直立烘烤。
- ☺ 开包后，SMD LED 产品须存放在温度<30℃和湿度<60%RH 的环境中，且在潮湿的月份必须在 12h 内用完，干燥的月份必须在 24h 内用完（过完回流焊接），使用时建议采用边折包装边贴片的方法。
- ☺ 焊接时推荐使用的电烙铁功率小于 25W，当在焊接产品时烙铁的温度应保持在 315℃以下且须在 3s 内完成焊接，当第一次没有焊接好时，必须停 10s 后才可以焊接，第二次焊接还是没有焊接好时，必须更换新 SMD 灯。
- ☺ 室温下把 SMD LED 浸在无水酒精里，且时间不超过 1min，然后在室温下自然干燥 15min 就可以正常使用了；当必须要用超声波类的产品对 LED 进行清洗时，必须对其进行评估，不推荐使用此类方式清洗。
- ☺ 用化学品清洗 LED 胶体时须特别小心，化学品对胶体表面有损伤并引起褪色（如三氯乙烯、丙酮），用乙醇擦拭浸渍，时间在常温下不超过 2min。

2．5730 封装的 LED 规格书

1）极限参数（温度=25℃） 具体见表3-7。

表 3-7　5730 极限参数

参数名称 Parameter	符号 Symbol	数值 Rating	单位 Unit
正向电流 Forward Current	I_F	200	mA
正向脉冲电流 Pulse Forward Current	I_{FP}	300	mA
反向电压 Reverse Voltage	V_R	5	V
工作温度 Operating Temperature	T_{OPR}	−40～+85	℃
储存温度 Storage Temperature	T_{stg}	−40～+85	℃
功耗 Power Dissipation	P_D	600	mW

2）光电参数（温度=25℃） 具体见表 3-8。

表 3-8　5730 光电参数

参数名称 Parameter	符号 Symbol	条件 Condition	最小值 Min.	典型值 Typ.	最大值 Max.	单位 Unit
反向电流 Reverse Current	I_R	V_R=5V			120	μA
正向电压 Forward Voltage	V_F		3.0		3.4	V
色温 Color Temperature	CCT		5500		6500	K
光通量 Luminous Flux	Φ_v	I_F=150mA	45		60	lm
视角度 View Angle	$2\theta_{1/2}$			120		deg
显色指数 Color Rendering Index	Ra		70		85	

3）5730 封装的外形与封装尺寸　具体见图 3-3。

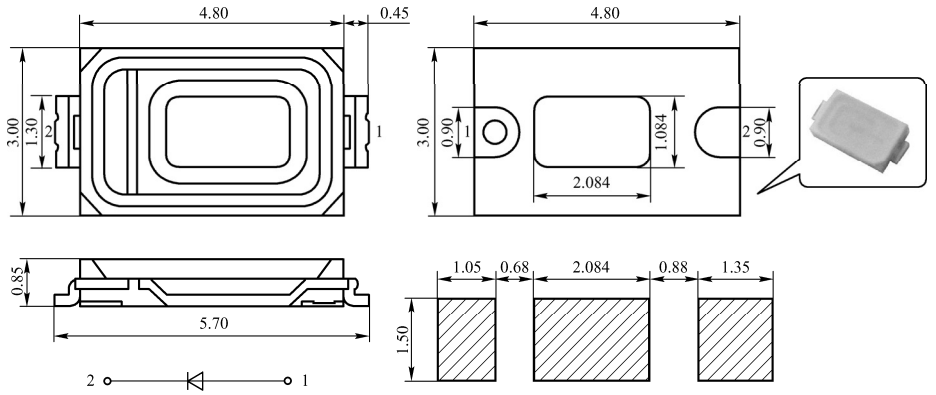


图 3-3　5730 封装的外形与封装尺寸

3．2835 封装的 LED 规格书

1）极限参数（温度=25℃）　具体见表 3-9。

表 3-9　2835 极限参数

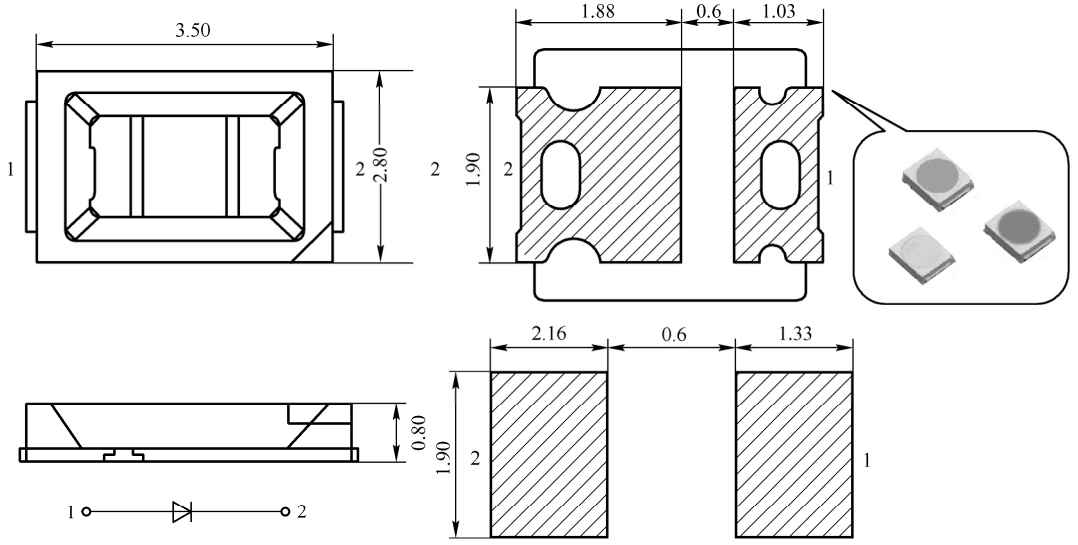
（a）0.2W 2835 极限参数			
参数名称 Parameter	符号 Symbol	数值 Rating	单位 Unit
正向电流 Forward Current	I_F	60	mA
正向脉冲电流 Pulse Forward Current	I_{FP}	90	mA
反向电压 Reverse Voltage	V_R	5	V
工作温度 Operating Temperature	T_{OPR}	−40～+85	℃
储存温度 Storage Temperature	T_{stg}	−40～+85	℃
功耗 Power Dissipation	P_D	200	mW
（b）0.5W 2835 极限参数			
参数名称 Parameter	符号 Symbol	数值 Rating	单位 Unit
正向电流 Forward Current	I_F	200	mA
反向电压 Reverse Voltage	V_R	5	V
工作温度 Operating Temperature	T_{OPR}	−40～+80	℃
储存温度 Storage Temperature	T_{stg}	−40～+80	℃
功耗 Power Dissipation	P_D	750	mW

2）光电参数（温度=25℃） 具体见表 3-10。

表 3-10　2835 光电参数

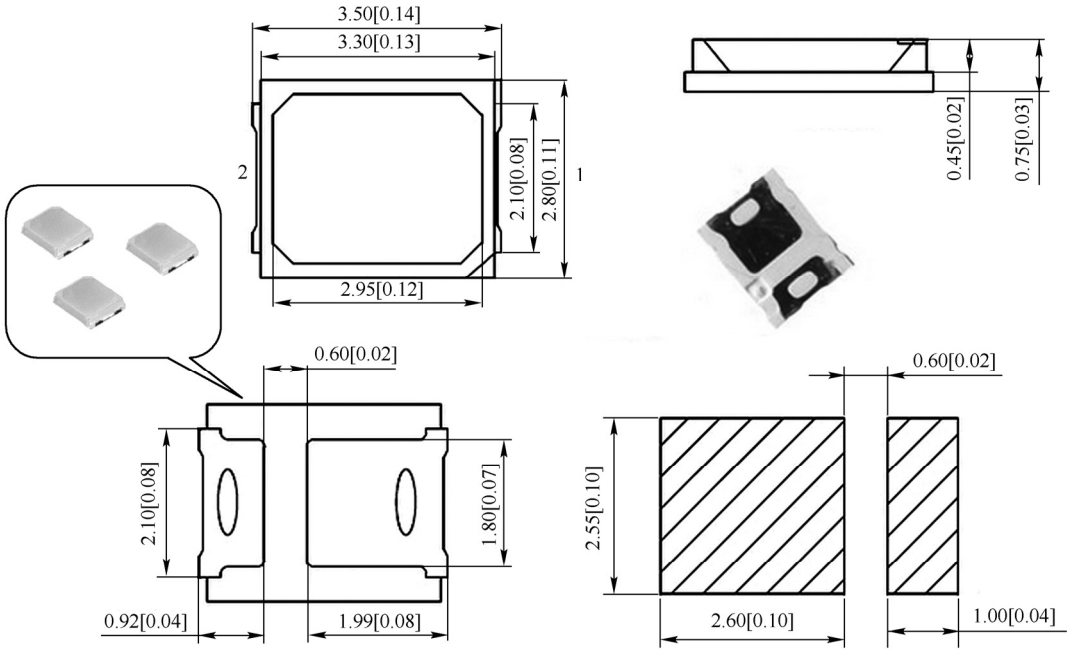
（a）0.2W 2835 光电参数						
参数名称 Parameter	符号 Symbol	条件 Condition	最小值 Min.	典型值 Typ.	最大值 Max.	单位 Unit
反向电流 Reverse Current	I_R	V_R=5V			10	μA
正向电压 Forward Voltage	V_F		3.0		3.4	V
色温 Color Temperature	CCT		5700		6500	K
光通量 Luminous Flux	Φ_v	I_F=60mA	22		26	lm
视角度 View Angle	$2\theta_{1/2}$			120		deg
显色指数 Color Rendering Index	Ra		80		85	
（b）0.5W 2835 光电参数						
参数名称 Parameter	符号 Symbol	条件 Condition	最小值 Min.	典型值 Typ.	最大值 Max.	单位 Unit
反向电流 Reverse Current	I_R	V_R=5V			10	μA
正向电压 Forward Voltage	V_F		3.0		3.6	V
色温 Color Temperature	CCT		5700		6500	K
光通量 Luminous Flux	Φ_v	I_F=150mA	45	55	65	lm
视角度 View Angle	$2\theta_{1/2}$			120		deg
显色指数 Color Rendering Index	Ra		80		85	

3）2835 封装的外形与封装尺寸　具体见图 3-4。

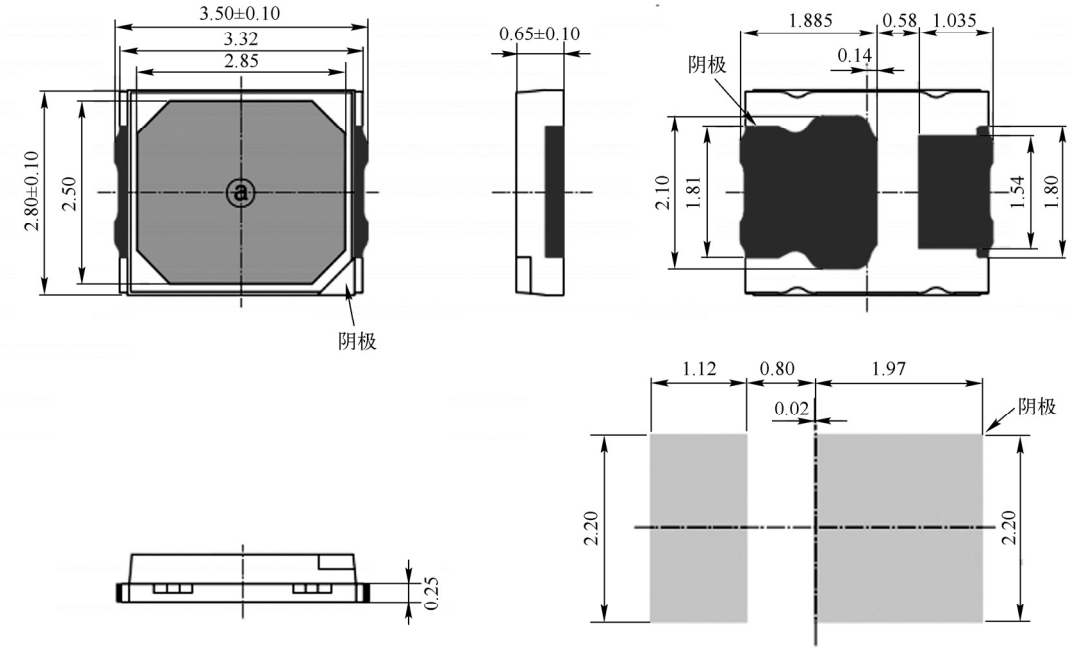


（a）2835封装的外形与封装尺寸(一)

图 3-4　2835 封装的外形与封装尺寸



（b）2835封装的外形与封装尺寸(二)



（c）三星公司2835封装的外形与封装尺寸

图 3-4　2835 封装的外形与封装尺寸（续）



三星（SAMSUNG）LED 灯珠 2835，工作电压 9V，功率 1W，工作电流 110mA；光效高，最高可达 140lm/W；光衰小，2000h 仅为 1.1%。

4．3535 封装的 LED 规格书

1W 或以上的功率等级，采用 HTCC 高导热陶瓷基板、硅胶透镜封装，集成了高光效、低热阻、体积小、易配光的特点，适用于电视背光、各种室内照明、汽车信号灯等通用照明及大功率信号灯领域。

1）极限参数（温度=25℃） 具体见表 3-11。

表 3-11　3535 极限参数

（a）1W 3535 极限参数				
参数名称 Parameter	符号 Symbol	数值 Rating		单位 Unit
正向电流 Forward Current	I_F	350		mA
正向脉冲电流 Pulse Forward Current	I_{FP}	1000		mA
反向电压 Reverse Voltage	V_R	5		V
工作温度 Operating Temperature	T_{OPR}	−20～+65		℃
储存温度 Storage Temperature	T_{stg}	0～+40		℃
功耗 Power Dissipation	P_D	1000		mW

（b）RGB 3535 极限参数					
参数名称 Parameter	符号 Symbol	最大额定值 Absolute Maximum Rating			单位 Unit
		红 Red	绿 Green	蓝 Blue	
正向电流 Forward Current	I_F	30	30	30	mA
正向脉冲电流 Pulse Forward Current	I_{FP}	100	100	100	mA
功耗 Power Dissipation	P_D	66	100	100	mW
反向电压 Reverse Voltage	V_R	9			V
工作温度 Operating Temperature	T_{OPR}	−30～+85			℃
储存温度 Storage Temperature	T_{stg}	−40～+100			℃

2）光电参数（温度=25℃） 具体见表3-12。

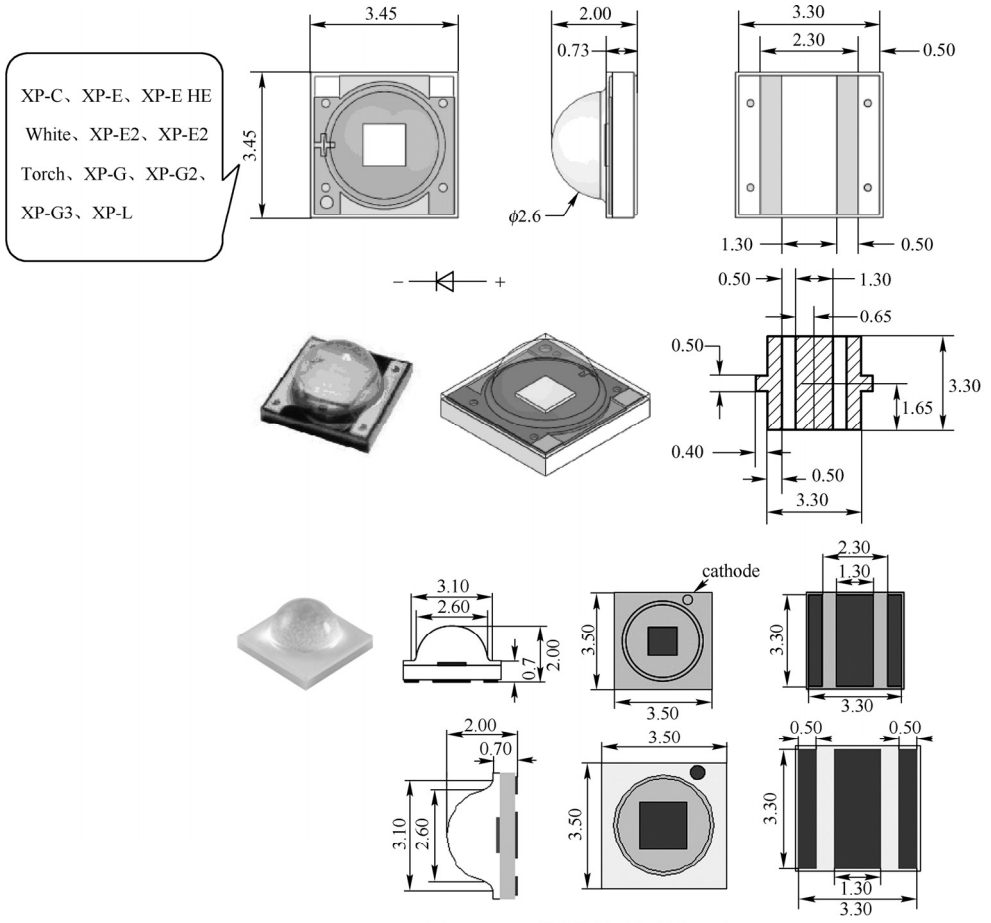
表 3-12　3535 光电参数

（a）1W 3535 光电参数						
参数名称 Parameter	符号 Symbol	条件 Condition	最小值 Min.	典型值 Typ.	最大值 Max.	单位 Unit
反向电流 Reverse Current	I_R	V_R=5V			2	μA
正向电压 Forward Voltage	V_F	I_F=350mA		3.4	3.6	V
色温 Color Temperature	CCT		6070		7035	K
光通量 Luminous Flux	Φ_v		90	100		lm
视角度 View Angle	$2\theta_{1/2}$		120		140	deg

续表

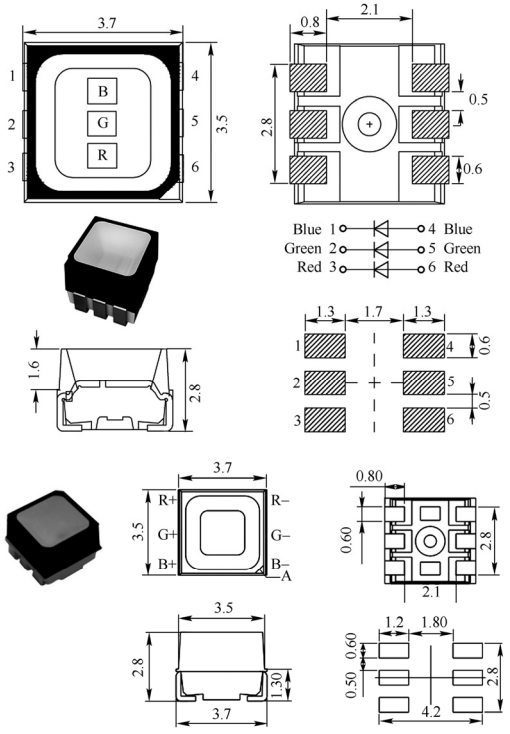
（b）0.2W RGB 3535 光电参数							
参数名称 Parameter	发光颜色	符号 Symbol	条件 Condition	最小值 Min.	典型值 Typ.	最大值 Max.	单位 Unit
反向电流 Reverse Current		I_R	V_R=9V			10	μA
正向电压 Forward Voltage	R	V_F	I_F=20mA	1.8		2.3	V
	G			2.9		3.4	
	B			2.9		3.4	
主波长 Dominate Wavelength	R	λ_D		620		625	nm
	G			515		530	
	B			460		475	
发光强度 Luminous Intensity	R			600		900	mcd
	G			1180		1700	
	B			260		400	
视角度 View Angle		$2\theta_{1/2}$		—	120	—	deg

3）3535封装的外形与封装尺寸 具体见图3-5。



（a）1W 3535封装的外形与封装尺寸

图 3-5　3535 封装的外形与封装尺寸



（b）0.2W RGB 3535封装的外形与封装尺寸

图 3-5　3535 封装的外形与封装尺寸（续）



静电和浪涌电压会损坏 LED，接触 LED 时必须佩戴防静电环和防静电手套。所有设备、装置和机器必须接地，采取相应措施防止浪涌电压击穿 LED。

5．5050 封装的 LED 规格书

本产品主要作为信号指示及照明的电子元件广泛应用于各类使用表面贴装结构的电子产品或各类室内外的装饰照明。

1）极限参数（温度=25℃） 具体见表 3-13。

表 3-13　5050 极限参数

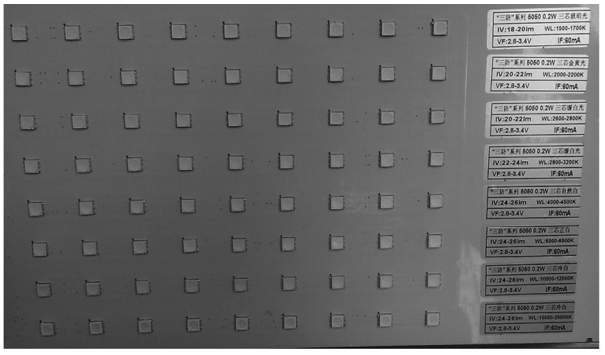
参数名称 Parameter	符号 Symbol	数值 Rating	单位 Unit
正向电流 Forward Current	I_F	75	mA
正向脉冲电流 Pulse Forward Current	I_{FP}	200	mA
反向电压 Reverse Voltage	V_R	5	V
工作温度 Operating Temperature	T_{OPR}	−30～+85	℃
储存温度 Storage Temperature	T_{stg}	−40～+100	℃
功耗 Power Dissipation	P_D	90	mW

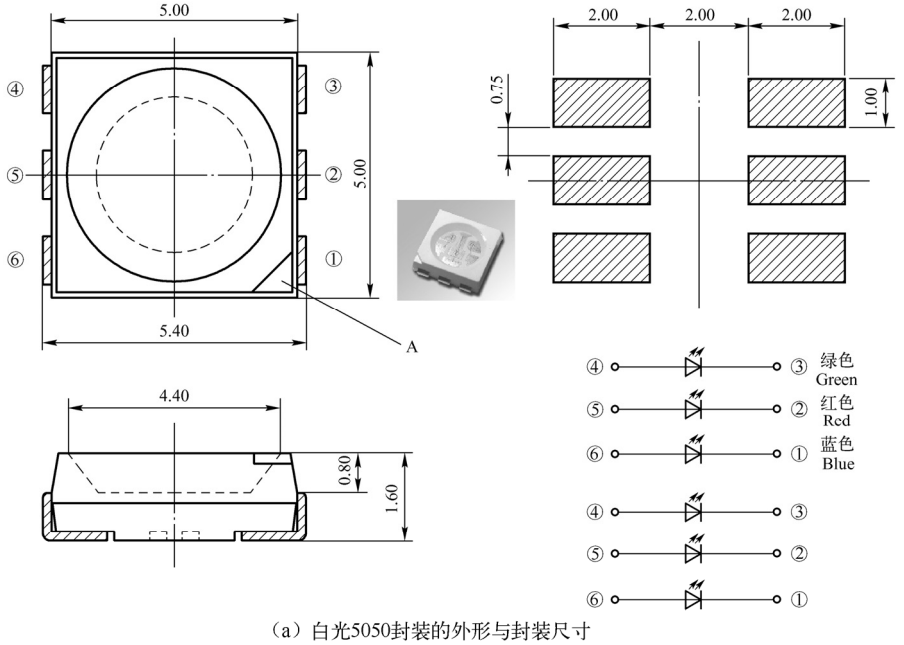
2）光电参数（温度=25℃） 具体见表3-14。

表 3-14　5050 光电参数

参数名称 Parameter	符号 Symbol	条件 Condition	最小值 Min.	典型值 Typ.	最大值 Max.	单位 Unit
反向电流 Reverse Current	I_R	V_R=5V			10	μA
正向电压 Forward Voltage	V_F	I_F=60mA	1.6	2.0	2.6	V
峰值波长 Peak Wavelength	λ_P			635		nm
主波长 Dominant Wavelength	λ_D		615	624	640	nm
半波宽度 Spectrum Radiation Bandwidth	$\Delta\lambda$			20		nm
光强 Luminous Intensity	I_V		1800	2300	2700	mcd
视角度 View Angle	$2\theta_{1/2}$			110		deg

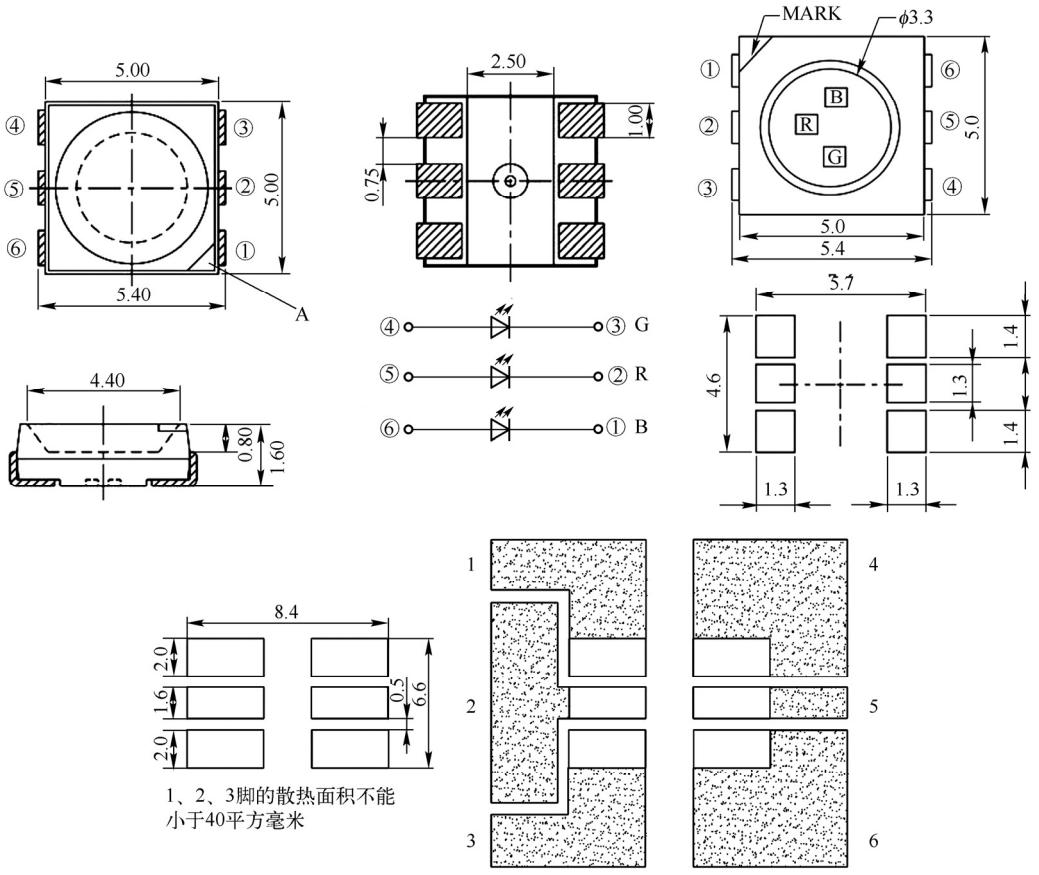
3）5050封装的外形与封装尺寸 具体见图3-6。



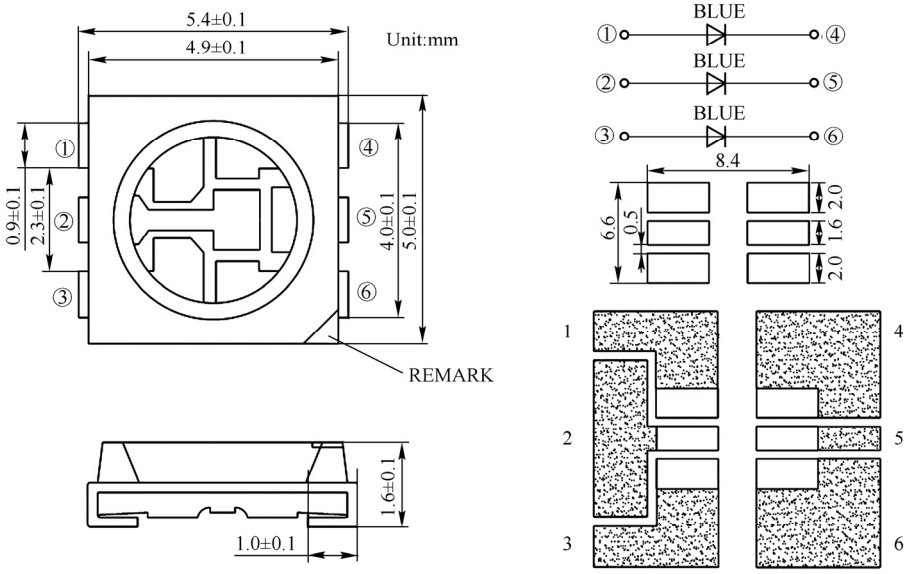


（a）白光5050封装的外形与封装尺寸

图 3-6　5050 封装的外形与封装尺寸



（b）RGB 5050封装的外形与封装尺寸



（c）蓝光5050封装的外形与封装尺寸

图 3-6　5050 封装的外形与封装尺寸（续）



烘烤是将 SMD LED 放入烤炉中在温度为 80±5℃且相对湿度≤10%RH 的条件下烘烤 24h，烘烤时需直立烘烤。



- ☺ 红光波长、亮度为 620～625nm、600～800mcd，蓝光波长、亮度为 460～466nm、500～700mcd，绿光波长、亮度为 520～525nm、1800～2200mcd。红光芯片晶元 10mil，蓝光芯片晶元 8×10mil，绿光芯片晶元 8×10mil。
- ☺ 在开包装之前，请先检查包装袋有无漏气，如果有漏气现象，必须重新烘烤除湿包装后再使用。
- ☺ 如果干燥剂过期了，必须将 LED 放在 70℃烤箱烘烤 12h。
- ☺ LED 电极和引线框架是由表面镀了银的铜合金构成的，镀银层会受到环境因素的破坏，应防止将 LED 电极镀银层放在腐蚀性环境下，因为 LED 电极被腐蚀后，会降低它的焊接能力及光电参数。
- ☺ 在温度不超过 40℃及湿度不超过 90%RH 条件下，LED 可以保存一年，在储存的时候，必须采用带干燥剂的防潮袋的包装方式。
- ☺ 抽真空包装材料超过 60 天（含）以上未使用，必须重新烘烤除湿后再使用。
- ☺ 为了防止在运输和储存过程中湿气侵入 SMD LED，SMD LED 必须用防潮袋密封包装。
- ☺ 包装时要在里面放入干燥剂和一张湿度卡，湿度卡上的湿度显示可以提供包装袋内的湿气程度。
- ☺ 开包时，检查湿度卡，如湿度卡在 30％RH 以上变色，必须先以 80℃烘烤 24h 以上才可以使用。
- ☺ 开包后，SMD LED 产品须存放在温度<30℃和湿度<60%RH 的环境中，且在潮湿的月份必须在 12h 内用完，干燥的月份必须在 24h 内用完。

6．1W 大功率 LED 封装的规格书

1）极限参数（温度=25℃） 具体见表 3-15。

表 3-15　1W 大功率 LED 极限参数

参数名称 Parameter	符号 Symbol	数值 Rating	单位 Unit
正向电流 Forward Current	I_F	350	mA
正向脉冲电流 Pulse Forward Current	I_{FP}	1000	mA
反向电压 Reverse Voltage	V_R	5	V
工作温度 Operating Temperature	T_{OPR}	−20～+75	℃
储存温度 Storage Temperature	Tstg	−30～+80	℃
功耗 Power Dissipation	P_D	1120	mW

2）光电参数（温度=25℃） 具体见表3-16。

表 3-16　1W 大功率 LED 光电参数

参数名称 Parameter	符号 Symbol	条件 Condition	最小值 Min.	典型值 Typ.	最大值 Max.	单位 Unit
反向电流 Reverse Current	I_R	V_R=5V			10	μA
正向电压 Forward Voltage	V_F	I_F=350mA		3.2		V
色温 Color Temperature	CCT			6500		K
色度坐标 Chromaticity Coordinates	X			0.3130		
	Y			0.3290		
光通量 Luminous Flux	Φ_v			100		lm
热阻 Thermal Resistance	$R_{J\text{-}B}$			8		℃/W
视角度 View Angle	$2\theta_{1/2}$			135		deg

3）1W 大功率 LED 封装的外形与封装尺寸　具体见图 3-7。

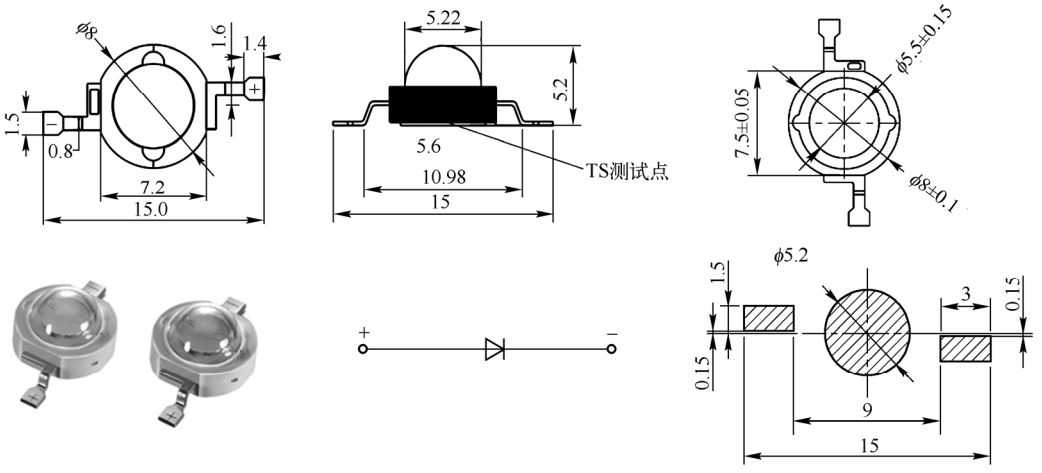


图 3-7　1W 大功率 LED 封装的外形与封装尺寸

7．COB 封装的规格书

COB 光源就是 LED 芯片直接贴在高反光率的镜面金属基板上的高光效集成面光源技术，芯片与基板的电气连接用引线缝合方法实现，并用树脂覆盖以确保可靠性。

1）极限参数（温度=25℃）　具体见表 3-17。

表 3-17　COB LED 极限参数

参数名称 Parameter	符号 Symbol	数值 Rating			单位 Unit
		Min.	Typ.	Max.	
正向电流 Forward Current	I_F	300	500	750	mA
功耗 Power Dissipation	P_D	10	18	28	W
结温 Junction Temperature	T_J	115			℃
工作温度 Operating Temperature	T_{OPR}	−35～+100			℃
储存温度 Storage Temperature	T_{stg}	−40～+100			℃
引线焊接温度 Lead Soldering Temperature	T_{SOL}	烙铁的温度必须小于 350℃，时间不能超过 5s			

2）光电参数（温度=25℃） 具体见表 3-18。

表 3-18　COB LED 光电参数

参数名称 Parameter	条件 Condition	符号 Symbol	最小值 Min.	典型值 Typ.	最大值 Max.	单位 Unit
正向电压 Forward Voltage	I_F=500mA	V_F	34	36	40	V
光通量 Luminous Flux	T_C=2700K	Φ_v	1900	2000	2200	lm
	T_C=3000K		2000	2100	2300	lm
	T_C=3500K		2130	2230	2430	lm
	T_C=4000K		2130	2230	2430	lm
	T_C=5000K		2160	2260	2460	lm
	T_C=5700K		2090	2190	2390	lm
显色指数 Color Rendering Index	I_F=500mA		80			
热阻 Thermal Resistance	I_F=500mA	$R_{J\text{-}B}$		2		℃/W

3）COB LED封装的外形与封装尺寸 具体见图3-8。



- ☺ 手工焊接烙铁温度设定 350℃，焊接时间不可超过 5s，第一焊点焊接后请确保基板表面温度恢复到环境温度，方可进行第二次的焊接。
- ☺ 基板负极引线温度不能超过 85℃，如果输入功率达到 COB 光源最大输入功率的 80%以上，基板负极引线温度应控制在 75℃以内。
- ☺ 焊接时请注意不可有外力作用于胶体表面及外圈的围堰胶上，以免造成金线变形或断线等异常。
- ☺ 导热膏涂布均匀且分布面积合理，不可出现导热膏太少或涂抹高低不平等现象。
- ☺ 使用导热胶垫时，请确保螺丝安装后基板与导热胶垫完全接触，不可存在中空现象。
- ☺ COB 产品的使用功率在 20W 以下，胶体表面温度控制≤160℃。
- ☺ COB 产品的使用功率在 30 ~ 50W 之间，胶体表面温度控制≤170℃。
- ☺ COB 产品的使用功率在 50 ~ 100W 之间，胶体表面温度控制≤180℃。
- ☺ 采用恒流源驱动 COB 光源时，要求恒流源输出电流符合规格书上的功率使用范围。
- ☺ 西铁城系列的 COB 均用小芯片封装，采用日亚芯片和日亚荧光粉。色容差达到 3-step 之内，显色指数可以达到 97。
- ☺ 广州硅能生产的 COB 光源系列分为 1313 系列、1818 系列、1919 系列、2424 系列、2828 系列等，功率涵盖 3 ~ 75W。
- ☺ 美国普瑞公司生产的 LED 照明光源产品功率为 3 ~ 80W，光通量为 800 ~ 20000lm，其色温为 2700 ~ 5000K，显色指数有 80、90 及 97 等，色容差为 3SDCM，且 VERO LED 全系列通过 LM80 测试报告。
- ☺ 朗明纳斯 XNOVA COB LED 系列发光面为 6 ~ 27mm，显色指数有 80、90、95，光通量为 300 ~ 14000lm，应用于商业照明、零售及其他定向性的 LED 照明。
- ☺ AC LED COB 光源目前主要针对室内照明，可以通过 CE 认证。

☺ COB 光源也有双色温的，光效可达到 110lm/W 以上，显色指数≥80。

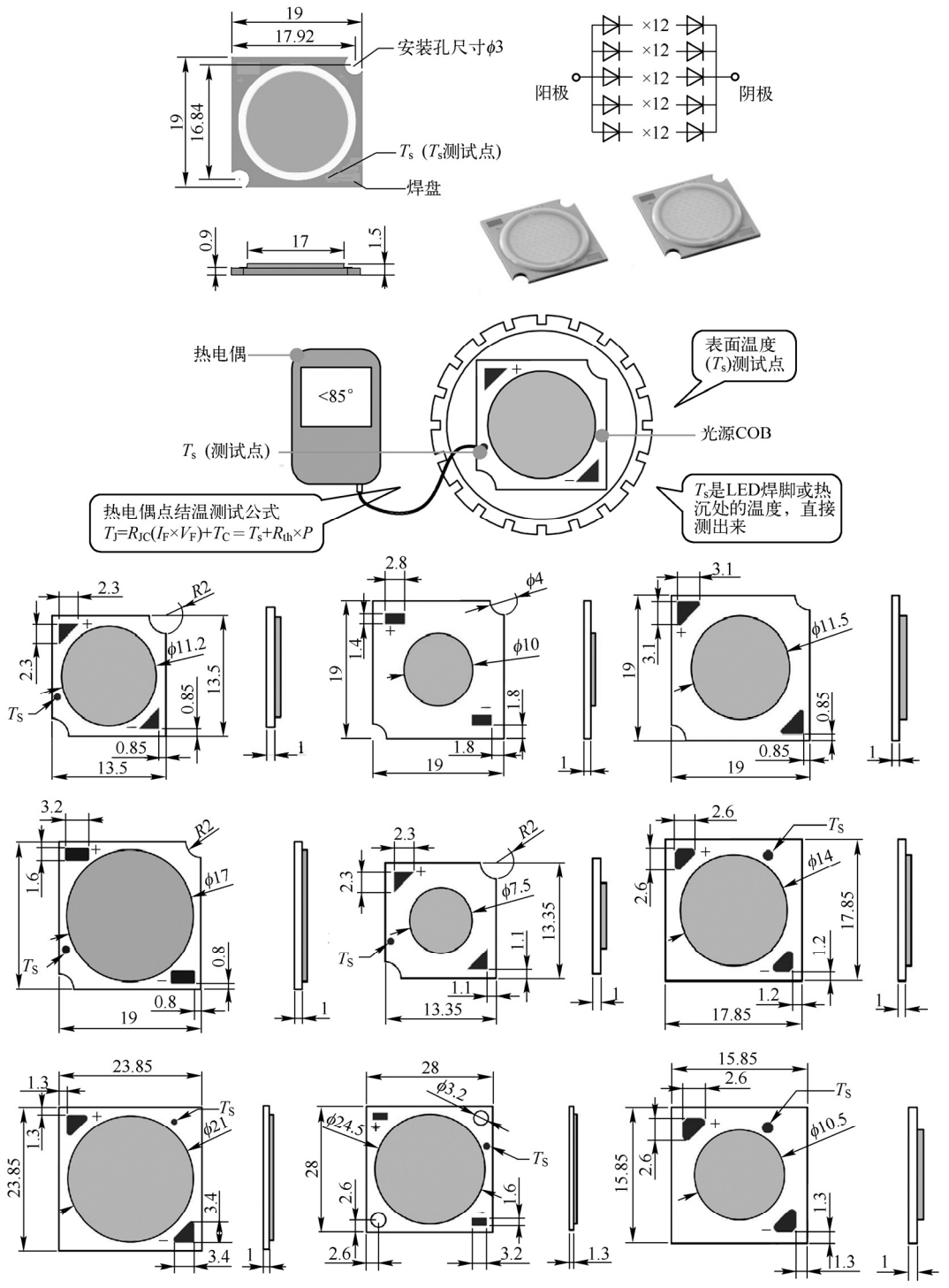


图 3-8　COB LED 封装的外形与封装尺寸

8．光引擎

相对于传统的 DC LED 来说，AC LED 是不经过 AC/DC 转换，直接用于市电 220V 或 110V 的交流电使用的 LED 照明技术。

目前 LED 有高 V_F 值的小电流的 LED 灯珠（高压 LED），高压 LED 的特点是高电压、小电流。高压 LED 是将两个、三个或多个小功率的芯片封装在一起。光引擎是一种新生技术，目前逐渐成为发展潮流。

目前光引擎可以通过 CE 认证，通过相关的测试（EMC 指令、LVD 指令、RoHS 测试、蓝光危害测试）。通过线性恒流驱动 IC，达到无频闪、实现晶闸管调光等功能。鸿利智汇 LED 光引擎采用 COB 封装与交流技术结合的方式，功率有 10W、20W、30W 三种。工作电压为 AC 200～240V，加入浪涌保护，内置过温保护，耐压大于 4kV，可以在筒灯、射灯上使用，兼容晶闸管调光。



☺ 高压 LED 和大功率集成 LED 光源的主要差别在于高压 LED 是全部串联，而大功率集成 LED 光源则是串并联。

☺ EMC 封装的 LED 光源已经开始量产，EMC 支架具高耐热、抗 UV、通高电流、体积小、抗黄化的特性。

9．焊接 LED

1）手工焊接 LED　具体如图 3-9 所示。

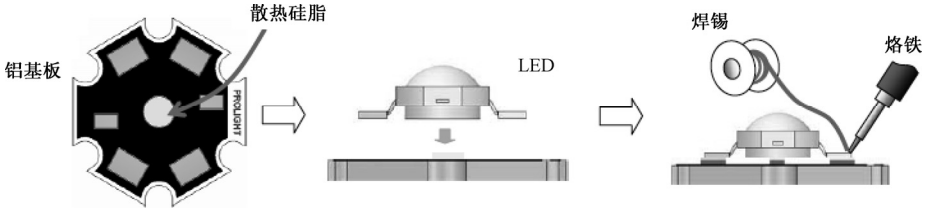


图 3-9　手工焊接 LED

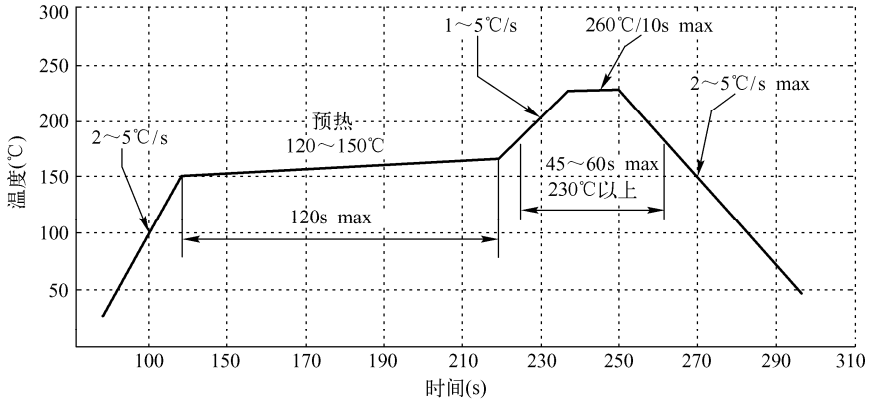
☺ 使用含铅焊锡焊接支架引脚时，最高温度为 230℃，时间为 5s。

☺ 使用无铅焊锡焊接支架引脚时，最高温度为 260℃，时间为 5s。

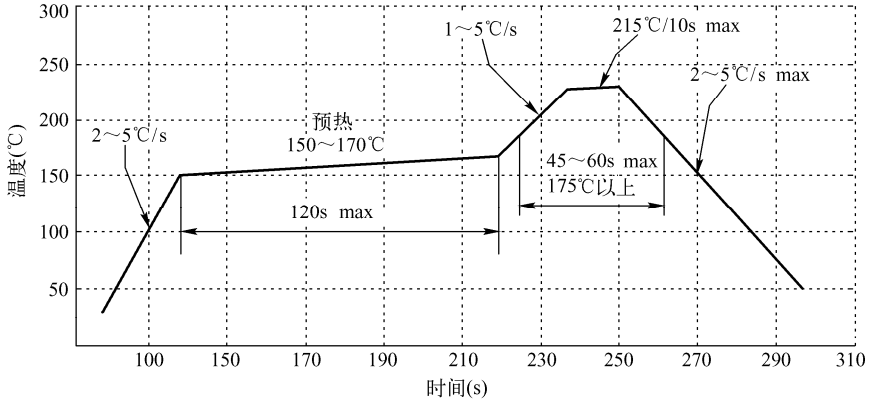
☺ 避免伤害到 LED 及铝基板的绝缘层，否则会引起短路。

☺ 不要让焊锡同时接触焊接垫及铝基板的背面，不然会短路及伤害 LED。

2）回流焊 LED　焊接温度曲线如图 3-10 所示。



（a）高温焊接



（b）低温焊接

图 3-10　焊接温度曲线



（1）回流焊大功率、中功率 LED 建议采用高温锡膏，熔化温度在 210～227℃（217℃），可靠性好，不易脱焊裂开。个别小功率可以用中温焊锡，熔化温度在 178～192℃（183℃）。

（2）回流焊大功率、中功率、小功率 LED 因不能进行高温焊接，建议采用有铅锡膏，熔化温度在 183℃，可靠性好，不易脱焊裂开。

（3）高温锡膏焊接强度和剪切力要优于低温锡膏，LED 焊接不能用低温锡膏。

（4）高温锡膏一般由锡、银、铜等金属元素组成，低温锡膏的成分是锡、铋。无铅锡膏主要由锡、银、铜组成，由银和铜来代替原来的铅的成分。

（5）黏度是锡膏的一个重要特性，锡膏的标准黏度在 500～1200kcps 范围内，典型黏度是 800kcps。这样的锡膏其黏性越低，流动性越好，易于流入模板孔内，印到 PCB 的焊盘上。

（6）锡膏的保管要控制在 0～10℃的环境下；锡膏的使用期限为 6 个月（开封）；不可放置于阳光照射处。

（7）焊膏厚度应在 1～2mil（1mil=0.0254mm）之间，具体取决于焊膏滴涂准确度。

（8）开封前须将锡膏温度回升到使用环境温度上（25±2℃），回温时间 3~4h，回温后须充分搅拌，搅拌时间视搅拌机机种而定。

（9）LED 要注意远离酸、偏酸性盐、硫化氢及含有硫素、卤素等类易与 LED 封装本体发生化学反应的物质。

回流焊注意事项：

☺ 确认回流焊内实际的炉温曲线是否符合 LED 焊接条件，可以参照 LED 产品规格书。

☺ 焊接 LED 只允许过一次回流焊炉。

☺ 过炉时不能对 LED 灯珠施加任何机械压力。

☺ TOP LED 的无铅回流焊建议的温度最高为 260℃不能超过 10s，220℃不能超过 10s，否则高温下可能导致 LED 产品功能失效。

☺ 不同类型的产品峰值温度设置应有所差异，一般来说 LED 的尺寸越大，应力释放越大，耐高温能力相对减弱。

☺ 过炉后请尽量避免修复 LED 的位置，必须补焊时也必须在开包后 8h 内完成。

☺ 过炉后，PCB 不能马上包装起来，需让 PCB 和 LED 灯珠自然冷却到室温。

☺ 焊接后应当使 LED 冷却至室温，再进行后续处理。过早处理该器件，会导致产品损坏。

☺ 焊接后清洁 PCB。

回流焊炉是电子科技工业 SMT（表面贴装技术）制程所需要的一种设备。回流炉工艺是通过重新熔化预先分配到印制板焊盘上的膏状软钎焊料，实现表面组装元器件焊端或引脚与印制板焊盘之间机械与电气连接的软钎焊。回流炉是 SMT 最后一个关键工序，是一个实时过程控制，其过程变化比较复杂，涉及许多工艺参数，其中温度曲线的设置最为重要，直接决定回流焊接质量。

目前常用的回流焊炉是八温区，回流焊关键参数的设置如表 3-19、表 3-20 所示。

表 3-19　低温焊接参数的设置

参　数	一温区	二温区	三温区	四温区	五温区	六温区	七温区	八温区
PV（测量值）	160	170	185	185	195	200	215	210
SV（设定值）	160	170	185	185	195	200	215	210



预热区转速为 2408r/min，活性区转速为 2240r/min，回流区转速为 2128r/min，运输速度为 120cm/min。

表 3-20　高温焊接参数的设置

参　数	一温区	二温区	三温区	四温区	五温区	六温区	七温区	八温区
PV（测量值）	162	179	182	198	212	233	250	232
SV（设定值）	160	180	180	200	210	230	250	230

说明

☺ 预热区转速为 1848r/min，活性区转速为 2128r/min，回流区转速为 2240r/min，运输速度为 110cm/min。

☺ 焊接完成后，如果要进行维修焊接可采用加热台作为工具，请不要用其他工具，以免由于维修焊接而破坏 LED 灯珠。

3）LED 组件存放 具体如图 3-11 所示。

☺ 堆放焊接有 LED 的 PCB 或组件时避免使 LED 胶体受到压力。施加在 LED 胶体上的力可能损坏 LED。堆放焊接有 LED 的 PCB 或组件时，应当保证 LED 胶体上方至少有 2cm 的空隙。

☺ 不要在 LED 上直接用气泡包装材料，来自气泡包装材料的力可能损坏 LED。



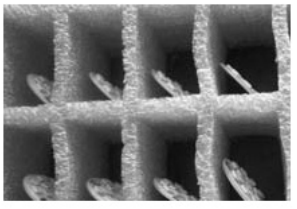


图 3-11 LED 组件存放

10. LED 使用须知

1）处理硅胶透镜 LED 的注意事项

☺ 不要在硅胶透镜上施加超过 3kg 的撞击力或压力，否则将会严重伤害 LED。

☺ 避免用尖或锐利的工具（如镊子）接触硅胶透镜。

☺ 避免在硅胶透镜上留下指纹。

☺ 请在远离灰尘处储藏 LED 或密封 LED 来对抗灰尘。

☺ 在 SMT 生产作业时，用来将 LED 放在 PCB 上的吸嘴除了会在硅胶透镜上施加机械压力以外，基本上对于吸嘴的形式并没有任何限制。

☺ 请不要在硅胶透镜上再用其他胶体（环氧树脂、氨基甲酸酯等）铸形。

2）储藏 请勿打开防潮袋（MBB）超过一星期，否则可能会使 LED 的支架接脚变色。当打开防潮袋后，应将 LED 储存在干燥箱里，而储存的条件为温度 5～30℃及湿度低于 40%RH；另外，也可以将 LED 重新放进防潮袋里，并且重新密封。

☺ LED 中间的散热块是导电的，因此建议散热块与散热器绝缘。

☺ LED 中间的散热块最好用焊接的，如果不行，则应使用散热硅胶。

说明

目前大部分 LED 都是热电分离技术，即芯片的电通路和封装热沉没有电连接。

☺ 焊接后降温至常温的过程中，避免任何的机械外力或过量的震动。
☺ 焊接后避免快速降温。
☺ LED 不能焊接在 PCB 弯曲的那一面上。
☺ 当 LED 已经焊接后应避免返工。假如必须返工，应使用加热板，并且必须先确认返工是否会对 LED 的特性造成伤害。
☺ LED 不能在任何液体（水、油、有机溶剂等）里面使用，而如要清洁 LED，则使用异丙醇。如果没有异丙醇又需要清洁的话，则用干净的软碎布蘸取酒精轻力擦除异物，不可以采用诸如丙酮之类的清洁剂以免造成腐蚀破坏。
☺ 用水溶性焊剂，如有必要，可使用异丙醇（异丙基酒精 IPA）清洁 PCB。不要使用超声波清洗，不要用水清洁已经装有 LED 的 PCB。
☺ 当 LED 发光时，应该视 LED 的最大温度来决定操作的正向电流。

3）清洗注意事项

☺ 为了防止损坏 LED，请不要使用无详细说明的化学液体清洗 LED。
☺ 勿用有机溶剂（如丙酮、天那水等）清洗或擦拭 LED 胶体，否则可能损伤 LED。
☺ 勿用水清洗 LED，水不易挥发且容易使支架引脚氧化生锈。如果用水清洗 LED，在回流焊之前必须进行烘烤除湿。
☺ LED 所处环境中，注意远离酸、偏酸性盐、硫化氢及含有硫素、卤素等类易与 LED 封装本体发生化学反应的物质。



3.8 LED 死灯现象分析与探讨

在使用过程中经常会碰到 LED 不亮的情况，这就是行业内所说的死灯现象。究其原因不外乎两种情况：其一，LED 的漏电流过大造成 PN 结失效，使 LED 灯通电不工作，这种情况一般不会影响其他 LED 灯的工作；其二，LED 灯的内部连接引线断开，造成 LED 无电流通过而产生死灯，这种情况也会影响其他 LED 灯的正常工作，原因是 LED 灯工作电压低，一般都要用串、并联来适应不同的工作电压，串联的 LED 灯越多影响越大，只要其中有一个 LED 灯内部连线开路，就会造成该串联电路的整串 LED 灯不工作，可见这种情况比第一种情况要严重得多。

LED 死灯是影响产品质量、可靠性的关键，如何减少和杜绝死灯，是封装、应用企业需要解决的关键问题。下面对造成死灯的原因进行分析探讨。

1．静电对 LED 芯片造成损伤

静电危害极大，每年造成数千万美元的经济损失。防止静电损坏电子元器件，是电子行业一项很重要的工作。在 LED 的封装生产线，各类设备都要接地，接地电阻要符合要求。一般要求接地电阻为 4Ω，有些要求高的场合其接地电阻甚至要不大于 2Ω。

封装企业不严格按接地规程办事，则将造成产品合格率下降，减少企业的经济效益。同样，应用 LED 的企业如果设备和人员接地不良也会造成 LED 的损坏，返工在所难免。按照

LED 使用手册的要求，LED 的引线距胶体应不少于 3～5mm 进行弯脚或焊接，但大多数应用企业都没有做到这一点，也会对 LED 造成损坏，因为焊接温度过高会对芯片产生影响，使芯片特性变坏，发光效率降低，甚至使 LED 损坏。有些中小企业甚至采用手工焊接，使用 40W 普通烙铁，焊接温度无法控制，而烙铁温度一般在 300～400℃以上，过高的焊接温度也会造成死灯。LED 引线在高温下的膨胀系数比在 150℃左右的膨胀系数高好几倍，内部的金丝焊点会因为过大的热胀冷缩而将焊接点拉开，造成死灯现象。

2．LED 灯内部连线焊点开路

（1）封装企业生产工艺不健全，来料检验手段落后，是造成 LED 死灯的直接原因。

一般采用支架排封装的 LED，其支架排采用铜或铁材料经精密模具冲压而成，由于铜材较贵，故成本较高，受市场激烈竞争因素的影响，为了降低生产成本，现在市场上大多都采用冷轧低碳钢作为原料来冲压 LED 支架排。铁的支架排要经过镀银，镀银有两个作用，一是为了防止氧化生锈，二是方便焊接。支架排的电镀质量非常关键，它关系到 LED 的寿命。每年有一段时间，空气湿度大，很容易造成电镀差的金属件生锈，使 LED 元件失效。即使封装了的 LED 也会因镀银层太薄而附着力不强，焊点与支架脱离，造成死灯现象。



电镀前的处理应严格按操作规程进行，除锈、除油、磷化等工序应一丝不苟，电镀时要控制好电流，镀银层厚度也要控制好，镀层太厚时成本高，太薄时影响质量。

（2）封装过程中每一道工序都应认真操作，任何一个环节疏忽都是造成死灯的原因。

在点、固晶工序，银胶（对于单焊点芯片）点得多与少都不行，点多了会返到芯片金垫上，造成短路，点少了芯片又粘不牢。双焊点芯片点绝缘胶也是一样，所以点胶必须恰到好处。焊接工序也很关键，金丝球焊机的压力、时间、温度、功率四个参数的配合都要恰到好处，除了时间固定外，其他三个参数都是可调的，压力的调节应适中，压力大容易压碎芯片，太小则容易虚焊。焊接温度一般调节在 280℃为宜，功率的调节是指超声波功率调节，太大、太小都不好，以适中为度。



金丝球焊机各项参数的调节，以焊接好的材料用弹簧力矩测试计检测不小于 6g 为合格。焊线的弧度也有要求，单焊点芯片的弧高为 1.5～2 个芯片厚度，双焊点芯片的弧高为 2～3 个芯片厚度。

3．鉴别虚焊死灯的方法

将不亮的 LED 灯用打火机将引线加热到 200～300℃，移开打火机，用 3V 扣式电池按正、负极连接 LED，如果此时 LED 灯能点亮，但随着引线温度降低 LED 灯由亮变为不亮，就证明 LED 灯是虚焊。加热能点亮是利用了金属热胀冷缩的原理，LED 引线加热时膨

胀伸长与内部焊点接通，此时接通电源，LED 就能正常发光；随着温度下降，LED 引线收缩回复到常温状态，与内部焊点断开，LED 灯就不亮了。

发生死灯的原因很多，从封装、应用到使用的每个环节都有可能导致死灯现象，如何提高 LED 产品的质量，是封装企业及应用企业要高度重视和认真研究的问题。从芯片、支架挑选，到 LED 封装整个工艺流程都要按照 ISO9001:2015《质量管理体系 要求》（GB / T 19001—2016《质量管理体系 要求》）及 IOS 14001:2015《环境管理体系 要求及使用指南》来进行运作。只有这样 LED 的产品质量才可能全面提高，才能做到长寿命、高可靠。在应用的电路设计上，选择压敏电阻和 PPTC 元件完善保护电路、增加并联路数、采用恒流开关电源、增设温度保护等都是提高 LED 产品可靠性的有效措施。

LED照明设计与应用（第3版）

第4章

商业照明用LED灯具的设计与组装

LED 射灯是指用发光二极管（LED）作为光源的射灯。传统射灯大多数采用卤素灯，卤素灯具有发光效率较低、耗电量较大、被照射环境温升快、使用寿命短的缺点。LED 在发光原理、节能、环保方面都优于传统照明产品。由于 LED 发光的单向性，形成了对 LED 射灯配光的完美支持。

1）光学特性 LED 提供的是半宽度很大的单色光。由于半导体的能隙随温度的上升而减小，因此它所发射的峰值波长随温度的上升而增长，即光谱红移，温度系数为 2～3℃/A。LED 发光亮度与正向电流近似成正比。

2）使用寿命 由于采取固体光源 LED 发光，所以 LED 射灯的寿命主要取决于固体 LED 光源和驱动电源部分。目前 LED 光源寿命已经达到 10^5h 以上，随着 LED 技术的不断发展和应用技术的大量普及，它在驱动电源和散热方面也基本达到较为理想的状态，市售的优质 LED 射灯寿命基本达到 10^4～5×10^4h，几乎是普通卤素射灯的 10～50 倍。

3）价格 由于 LED 射灯在结构上比卤素射灯复杂，材料也不同，价格往往会高于卤素灯。但随着人们对 LED 认识和接受程度的提高，以及大规模生产的展开，价格会很快达到消费者接受的水平。如果在购买时算上一笔节能账，就会发现即使是现在较高的价格，在使用一年的基础上，初始购买成本加上 1 年的电费也要低于传统卤素射灯的购买与使用成本。



- ☺ 照明电器进行 3C 认证，其灯具的分类有嵌入式灯具、固定式通用灯具、可移式通用灯具、水族箱灯具、电源插座安装的夜灯、地面嵌入式灯具、LED 模块用直流或交流电子控制装置。
- ☺ LED 灯具 3C 认证单元划分原则为产品类型、结构、安装方式、材料划分申请单元。单元覆盖的产品要有 6 点相同，分别为安装方式、光源种类、防触电保护等级、外壳防护等级、安装面材料、灯的控制装置。
- ☺ 同一单元要求以上 6 点相同，且结构相似。在实际 3C 认证过程中，要对覆盖产品系列进行差异说明。其差异有外形尺寸、外观颜色、款式、光源功率、额定功率等。
- ☺ 照明电器认证根据国家认监委发布的 CNCA-C10-01：2014《强制性认证实施规则 照明电器》实施，认证实施细则有中国质量认证中心（CQC）的 CQC-C1001—2014《强制性产品认证实施细则 照明电器》及广东质检中诚认证有限公司（CTC）的 CTC-C1001—2014《强制性产品认证实施细则 照明电器》。
- ☺ 目前，COB 类 LED 射灯已经成为商业照明的重要组成部分，在商业照明领域已经广泛使用。
- ☺ 本书引用标准为国家标准或行业、地方标准，出现标准更替时，以新的标准为准。目前，我国国家标准委正在对强制性国家标准和行业标准整合精简，结论以国家标准委发布为准。

4）分类 大部分 LED 射灯以插脚式的 MR11、MR16、MR25 为主。若按灯脚区分，则还包括 E26、E27、GU5.3、GU10、B22 等。

LED 射灯可分为下照射灯和路轨射灯。

（1）下照射灯。下照射灯可装于顶棚、床头上方、橱柜内，还可以吊挂、落地、悬空，分为全藏式和半藏式两种类型。下照射灯的特点是光源自上而下做局部照射和自由散射，光源被合拢在灯罩内，其造型有管式下照灯、套筒式下照灯、花盆式下照灯、凹形槽下照灯及下照壁灯等，可分别装于门廊、客厅和卧室。选择下照射灯时，瓦数不宜过大，仅为照亮而已，不能强光刺眼。

（2）路轨射灯。路轨射灯大都用金属喷涂或陶瓷材料制作，有纯白、米色、浅灰、金色、银色、黑色等色调；外形有长形、圆形，规格尺寸大小不一。路轨射灯所投射的光束集中，可用于客厅、门廊或卧室、书房；可以设一盏或多盏。射灯外形与色调尽可能与居室整体设计协调统一。路轨射灯装于顶棚下 15～30cm 处，也可装于顶棚一角靠墙处。



LED 外置恒流驱动电源用于驱动 LED 筒灯、LED 射灯、LED 天花灯、LED 面板灯等，输出电流与电压可以根据 LED 光源负载来调整。

4.1 LED 灯具的开发前景与目前存在的主要问题

1．LED 灯具的开发前景

LED 作为一种新型的照明技术，其应用前景举世瞩目，尤其是高亮度 LED 更被誉为 21 世纪最有价值的光源，必将引起照明领域一场新的革命。商业及家居照明才是今后 LED 照明的最大市场。目前，在商业及家居 LED 照明领域，市场主流都是不更改原来白炽灯及卤素灯的基础安装架构，只是用 LED 光源代替传统照明光源。

灯具设计的内容与形式主要是光，LED 新光源促使照明灯具的设计开发逐步革新，在很大程度上改变了人们对传统照明观念的认识，使我们从传统的点、线光源局限中解放出来，可以自由发挥和重新确立灯具设计的语言和概念，灯具在视/知觉与形态的创意表现上具有了更大的弹性空间，家居照明灯具向更加节能化、健康化、艺术化和人性化的方向发展。

（1）节能化。LED 是冷光源，与白炽灯、荧光灯相比，其节电效率可以达到 80%以上。在同样亮度下，耗电量仅为普通白炽灯的 10%、荧光灯的 50%。如果用 LED 取代传统照明灯具的 50%，则每年我国节省的电量就相当于一个三峡电站发电量的总和，其节能效益十分可观。

（2）健康化。LED 是一种绿色光源。LED 灯由直流驱动，没有频闪；没有红外（IR）和紫外（UV）的成分，没有辐射污染，显色性高并且具有很强的发光方向性；调光性能好，色温变化时不会产生视觉误差；冷光源发热量低，可以安全触摸。它既能提供令人舒适的光照空间，又能很好地满足人们的生理健康需求，是保护视力并且环保的健康光源。

在商业照明领域，COB 光源的性能、寿命、价格越来越好。用 COB 光源生产的 LED 射灯在均匀度、照度等参数方面达到优秀水平，已经成为取代传统卤素灯及陶瓷金卤灯的重要 LED 照明灯具。

（3）艺术化。光色是构成视觉美学的基本要素，是美化居室的重要手段。光源的选用直接影响灯光的艺术效果，LED 在光色展示灯具艺术化上显示出了无与伦比的优势。目前彩色 LED 产品已覆盖整个可见光谱范围，且单色性好，色彩纯度高，红、绿、黄 LED 的组合使色彩及灰度的选择具有较大的灵活性。

（4）人性化。LED 灯具体积小、质量小，可选用不同光色的 LED 组合成照度柔和的各种模块，安装在居室中的任意位置。因此，现在家居照明将不再局限于单个灯具，而将由单个灯具照明转化为无照明器具感的整体照明效果的无影灯。不同的光色和亮度对人的生理和心理可产生不同的影响，在很多情况下可能并不需要很亮的白光，黄光或其他颜色的光更适合生理和心理的需要。

2．目前存在的主要问题

从 1964 年被发明至今，被称为“希望之光”的 LED 已发展到普及化照明的时代，但在室内照明的起步阶段，LED 灯具还有其固有的缺点，主要表现在以下几个方面。

（1）光通量有待进一步提高。LED 的光效与高强度气体放电灯（HID）相比仍有较大差距。采用 LED 作为照明光源，必须具有更高的能量转换效率，从而发出更多的光。目前世界各国均加紧了对提高 LED 发光效率方面的研究。

（2）LED 发出的光与自然光的差距。自然光具有非常强的黄色光谱成分，给人一种温暖的感觉；而白光 LED 发出的白光带有较多的蓝光成分，在这种光的照明下，视觉效果不太自然。

（3）散热问题。如何把结温有效降低到允许水平仍在探索和实践中。温度控制不好，将影响光效，加速光通衰减，甚至影响色温、显色性的稳定。目前这一方面有了长足的进步，其光色可以达到原来白炽灯及卤素灯的效果，有的已经超过了。

（4）价格较高。这是影响 LED 灯具普及的主要原因。近年来，随着晶片生产技术的改良及各种专利技术的解禁，其制造成本正在急剧下降。LED 照明灯具正朝着高效率、低成本的方向发展，为 LED 照明广泛应用提供了有利条件。

（5）光电技术、控制方式、控制手段结合不理想。LED 生产企业应重视微电子技术在光源控制领域的应用，可以借鉴 LED 户外大型显示屏的做法，按占空比方式实现对若干红、绿、蓝 LED 发光单元发光灰度进行控制，采用嵌入式微控制器，实现独立的数字化控制，使其产生全彩动态变化的显示效果。

（6）色温偏高问题。过多的蓝色光谱，对于多数室内场所会使人感觉不舒服，产生刺激感，与环境不够协调，光线不够柔和，不利于眼睛的保护。

（7）产品的一致性、可靠性有待提高。由于 LED 照明灯具需由多个 LED 光源单体组成，所以其参数离散性是一个重要的技术问题。除了通过预选、分类尽量保证一致性以外，还必须设计合理的灯具结构（包括 LED 单体的排列和位置布局）和研究合适的驱动电路，

防止偶然产生的能量集中而烧毁部分 LED。此外，由于多个 LED 单体组成一只照明灯具时，免不了对 LED 进行并联或串联，而在使用过程中只要有一个 LED 短路或开路（主要是开路），都会导致整小片或整条 LED 工作点的变化，造成寿命缩短或熄灭，影响照明效果，目前 COB 光源在这方面已有了很大的改善。因此，必须研究简单、廉价、有效的保护电路，将这种不良影响降到最低限度。

（8）缺乏有序发展的问题。短短几年，几千家企业挤入 LED 照明领域，有一些企业在模仿中制作，低水平重复，靠夸大入市，有的企业和一些媒体融合，过分炒作，夸大节能效果，甚至个别政府官员也推波助澜，误导了使用单位。目前，已经逐步建立技术标准和客观的评价机制。应以实事求是的舆论导向，引导 LED 照明行业健康发展。

4.2 MR16 灯杯的设计与组装

MR（Multiface Reflect）即多面反射（灯杯），其后数字表示灯杯口径（单位是 1/8 英寸），MR16 的口径=16×1/8 英寸=2 英寸 ≈ 50mm。

MR16 灯杯是多面反射（MR）灯的一种，传统上采用卤素灯丝作为光源。因其尺寸、可配制性、点聚光能力和美观性，主要应用于追踪照明、凹天花板灯、台灯、吊灯、景观照明、零售展示照明和自行车头灯等方面。



☺ 传统卤素 MR16 灯杯的功耗在 10～50W 之间，输出光通量为 150～800lm，发光效率为 15lm/W。D 级卤素灯泡将从 2018 年 9 月 1 日起退出欧盟市场。

☺ 超高显指是指显色指数 97Ra，R9>90 的 COB 光源，其光色与传统金卤灯基本一样，甚至在某些特殊场合能替代传统金卤灯。被照物体与传统金卤灯的效果相当，甚至更加优秀。目前已有可完全替代传统金卤灯的 COB 射灯。

MR16 灯杯的典型工作电源是 AC/DC 12V，因此需要一个降压变压器来使用离线电源。MR16 灯杯通常要用到传统的降压变压器或电子变压器。随着大功率 LED 技术的进步，现在已经批量生产 MR16 大功率 LED 灯杯。MR16 大功率 LED 灯杯方案可以产生高性价比、长寿命、免维护和发热量更低的工作设备，这是传统卤素灯丝无法做到的。

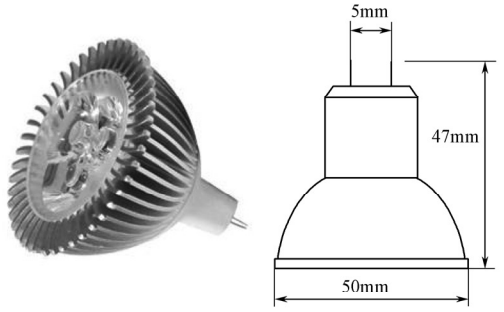
本节主要以 MR16 3×1W 灯杯为例，介绍其性能、驱动电源、组装的工具、辅助材料和组装流程。

4.2.1 MR16 灯杯简介

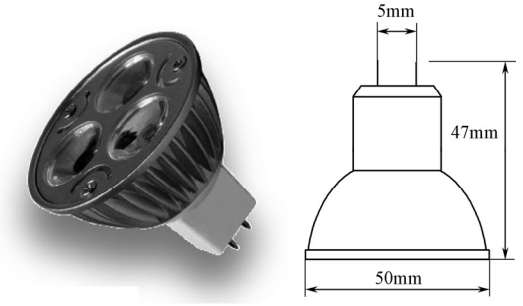
1．MR16 灯杯主要产品

目前市场上用量较大的主要有 MR16 1×1W、MR16 3×1W、MR16 1×3W、MR16

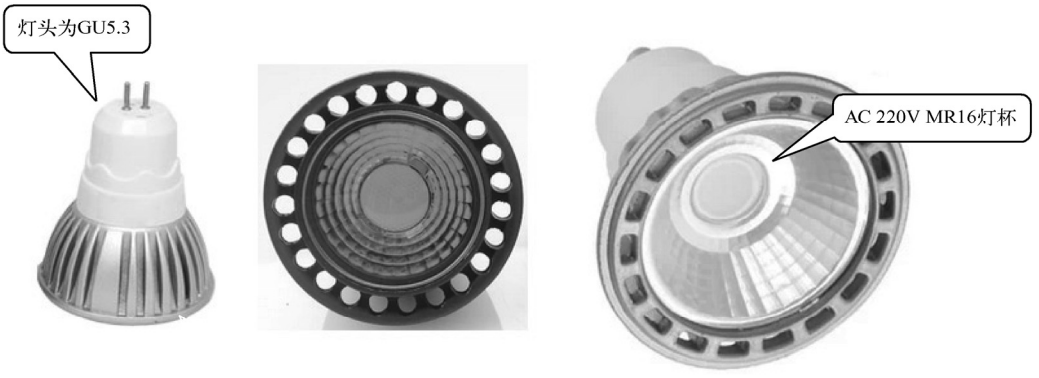
5×1W、MR16 1×5W等，如图4-1所示。MR16射灯主要由驱动部分、底座、灯杯、LED光源、透镜和PCB铝基板构成，COB MR16射灯少了铝基板。



（a）MR16 1×1W示意图



（b）MR16 3×1W示意图



（c）AC 220V与COB光源MR16灯杯

图4-1　部分常用的MR16灯杯



3W、4W、5W、7W、10W LED COB射灯是目前常用的LED射灯，与常规的大功率LED射灯相比，亮度更高、显色更好、光圈更完美。COB射灯采用45×45MIL的LED芯片，显色指数大于80，其光通量在110lm/W。

目前MR16灯杯灯体材质有两种，一种是采用6063航空铝材（冷锻铝），导热系数达到209W/m·K，散热效果显著；表面经阳极氧化处理，配合进口PMMA材质的光学透镜进行二次配光设计，光学透镜角度无论是60°（散光）还是35°（聚光），都能达到理想的照明效果。另一种是采用ADC12压铸铝材（压铸铝），导热系数达到96W/M·K，散热效果良好；配合进口材质的珠面散光透镜（角度55°），适合在非焦点照明的射灯场合下使用。MR16灯杯透镜表面处理分为镜面、磨砂和小珠面三种。半光强角有15°、25°、40°、60°。

目前MR16灯杯都是采用双通道散热，增加了散热面积，同时利用烟囱效应加速空气流动，提高换热系数。散热器外表面与空气直接接触，作为第一散热通道；多个“烟囱孔”

均匀排布，作为第二散热通道。

2．MR16 灯杯产品特点

MR16 灯杯类型比较多，形状也是各式各样，常用于家居、商业、办公等场所。MR16 3×1W 灯杯具备 LED 射灯的所有特点，如下所述。

☺ 优秀的柔光技术，使 LED 光源扩展为面光源，消除了眩光、视觉疲劳，升华了视觉效果。
☺ LED 射灯采用二次光学配光，透镜的作用是聚光、防护、美观，避免了光的重复浪费，使出光效率比普通 LED 提高 10%以上。
☺ 大功率 LED 平面集群封装，散热器与灯座一体化设计。
☺ LED 射灯比传统白炽灯节电 80%以上。
☺ 超长寿命（5×10^4h 以上），是传统钨丝灯的 50 倍以上。
☺ LED 射灯无频闪，纯直流工作，消除了传统光源频闪引起的视觉疲劳。
☺ 绿色环保，无污染。不含铅、水银（汞）等污染元素。
☺ 耐冲击，抗震力强，无紫外线和红外线辐射。
☺ 低热、低电压工作，安全可靠。
☺ 采用 PWM 恒流技术，效率高，热能低，恒流精度高。
☺ 降低了线路损耗，对电网无污染。
☺ 宽电压范围，全球通用。
☺ 通用标准灯头，可直接替换现有的卤素灯、白炽灯和荧光灯。
☺ 发光效率高，可达 100 ~ 120lm/W，色温 2700 ~ 6500K 可选，显色指数高，显色性好。

3．MR16 灯杯技术指标

☺ 功率：3W、5W。
☺ 输入电压：12V AC/DC。
☺ LED 驱动方式采用恒流驱动。
☺ 采用美国科锐公司 COB 光源、中国台湾封装的 COB 光源。
☺ 光束角
✧ 25°（聚光）：采用 25° 的透镜。
✧ 35°（聚光）：采用 35° 的透镜。
✧ 45°（聚光）：采用 45° 的透镜。
✧ 60°（聚光）：采用 60° 的透镜。
☺ MR16 灯杯外壳采用压铸铝或车铝，具有体积小、散热好的特点。

4.2.2 MR16 灯杯的驱动电源

市面上 MR16 灯杯的驱动芯片有 XL3002、PAM2861、SN3350、BP1361、TPS92560、

QX5241、FP7102、PT4115 等，本节主要介绍市场上比较常用的 MR16 灯杯驱动芯片 PT4115。

1．PT4115 芯片简介

1）PT4115 芯片的特性

☺ 高度集成 DC/DC-Buck→Constant Current 功能。

☺ 采用抖频技术有效降低 EMI。



频率抖动技术（Frequency Jitter）是一种从分散谐波干扰能量着手解决 EMI 问题的新方法，是指开关电源的工作频率并非固定不变，而是周期性地由窄带变为宽带来降低 EMI、减小电磁干扰的方法。

☺ U_{in} =8 ~ 30V，击穿电压>45V； I_{out} =1.2A。

☺ 效率高达 97%。

☺ DIM 由高向低调光，安全可靠。

☺ 超低的关断电流。

☺ ±5%输出电流精度。

☺ LED 开路保护。

☺ 采用 SOT89-5 封装，有利于驱动芯片管芯的快速散热。

☺ 周边应用电路简约，仅 4 个元器件，应用成本低。

2）PT4115 芯片的引脚功能

☺ SW：功率开关的漏端。

☺ GND：信号和功率地。

☺ DIM：开关使能、模拟和 PWM 调光端。

☺ CSN：电流采样端，采样电阻接在 CSN 和 VIN 端之间。

☺ VIN：电源输入端，必须就近接旁路电容。

☺ Exposed PAD：散热端，内部接地，贴在 PCB 上以减小热阻。

2．PT4115 芯片应用特点

☺ 电感越大，工作频率越低，恒流效果越好。

☺ 输出电流越大，需要电感值越小。电感选择方便。

☺ 输出电压越高，效率越高，3 颗 1W 串联比 1 颗 3W 效率高。

☺ 系统损耗由 R_S 损耗（$0.1\times I_{out}$）、电感 DCR 损耗（$DCR\times I_{out}^2$）、功率开关导通损耗（$R_{SW}\times I_{out}^2$）、功率开关开关损耗（正比于开关频率）等主要部分组成。

☺ 通常电感越大，功率开关开关损耗越小，但是 DCR 会变大，对应电感损耗变大。

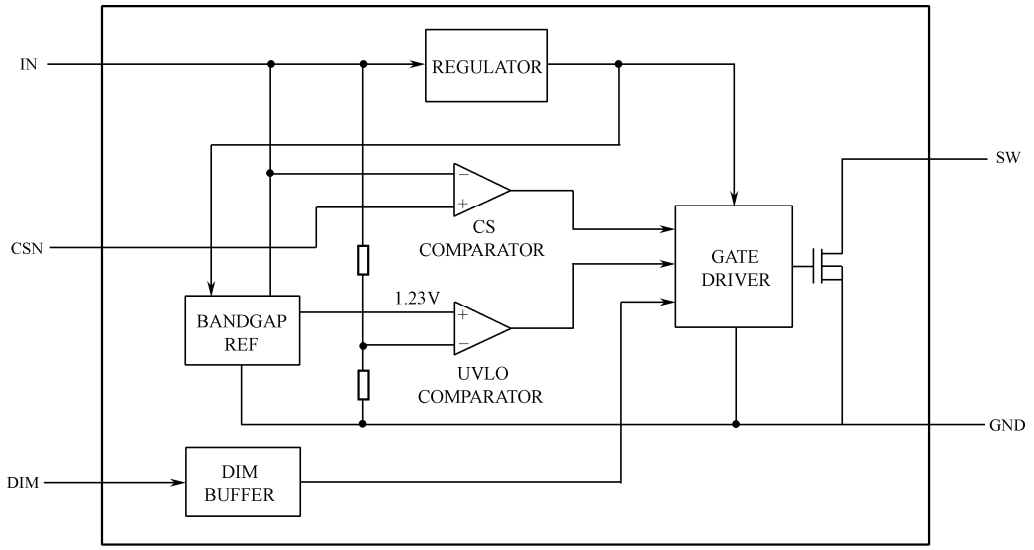
☺ 反馈电压 100mV，R_S 损耗较小，功率开关导通电阻 R_{SW} 为 0.6Ω，也比较小，效率比一般产品高。

☺ 内部含有过温保护功能，外部可以设计过温保护，对 LED 有双重保护。

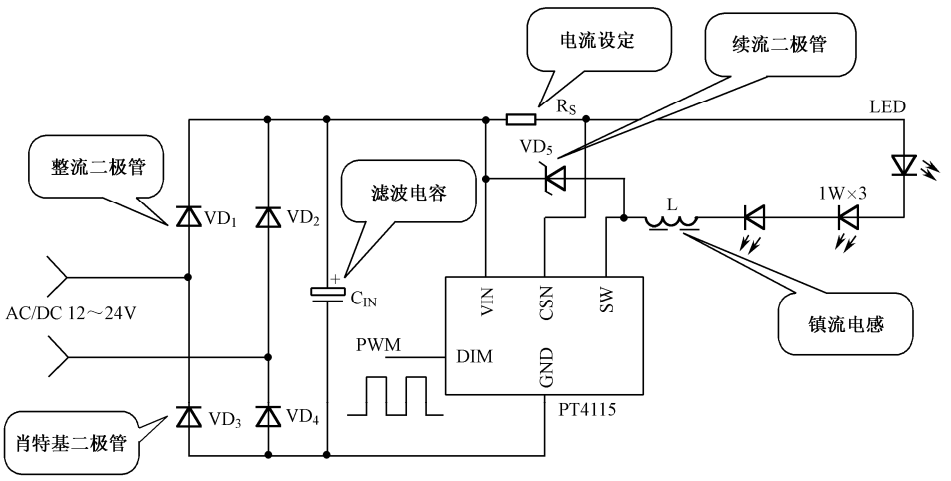
☺ 采用 SOT89-5 封装，热阻仅为 45℃/W，散热特性很好。

3．PT4115 芯片应用电路

PT4115 内部框图及应用电路如图 4-2 所示。其应用电路外部元器件选择条件及 BOM 表见表 4-1。



（a）PT4115内部框图



（b）应用电路

图 4-2　PT4115 内部框图及应用电路

表 4-1　PT4115 应用电路外部元器件选择条件及 BOM 表

（a）PT4115 应用电路外部元器件选择条件					
R_S	精度大于 1%		R_S=0.1/I_{LED}，如要输出 350mA，则 R_S =0.1/0.35=0.2857Ω		
C_{IN}	100μF（工作电压>50V）		输出电流小于 400mA		
	100μF（工作电压>50V）		输出电流大于 400mA		
	有续流储能和滤波的功能，电容量不宜太小				
VD	SS14		输出电流小于 400mA		
	SS24		输出电流大于 400mA		
	导通压降低于 0.30V 的肖特基二极管，可以提高系统效率				
L	33～47μH（饱和电流>1.8A）		输出电流为 800～1200mA		
	47～68μH（饱和电流>1.2A）		输出电流为 400～800mA		
	68～100μH（饱和电流>0.6A）		输出电流小于 400mA		
	DCR 越小，效率越高。选用 EPC13 锰锌 4000 磁芯。选用额定电流大于工作电流的 1～1.5 倍				
整流二极管	正向压降尽可能低的肖特基二极管，可有效降低系统功耗；电流能力一定要满足应用，原则上大于 1.5×I_{out}×U_{out}/(0.8×U_{in})				
（b）BOM 表					
序　号	元 件 号	参　数	描　述	数　量	备　注
1	VD_1～VD_4	SS14	肖特基二极管	4	
2	C_{IN}	100μF/25V	电解电容	1	
3	R_S	0.27Ω/0.1W（350mA） 0.13Ω/0.1W（700mA）	金属膜电阻	1	
4	VD_5	SS14/SS16	肖特基二极管	1	
5	IC	PT4115	恒流源芯片	1	华润矽威

注：① 驱动芯片的封装应有利于驱动芯片管芯的快速散热。如将管芯直接绑定在铜板上，并有一引脚直接延伸到封装外，便于直接焊接在 PCB 的铜箔上迅速导热。例如，在一个类似 1.5mm×1.2mm 的硅片管芯上，要长时间通过 300～1000mA 的电流，必然有功耗，必然会发热，芯片 PT4115 本身的物理散热结构也是至关重要的。

② DIM 端内部是一个 200kΩ上拉电阻，接到内部 5V 电源。DIM 端的电压由 Rup 和 NTC 分压决定，利用模拟调光的原理及温度对 LED 电流的负反馈实现动态温度控制。NTC 也可以由二极管或二极管串热敏电阻等方法来实现。

③ 电流采样电阻布板中要尽量减小 R_S 两端走线引起的寄生电阻，以保证采样电流的准确。

驱动 3 颗 1W 串联白光 LED 的电路原理图见图 4-2，BOM 表见表 4-1。它是 12～24V 电压范围里交、直流两用的，VD_1～VD_4 组成整流桥，C_{IN} 是滤波电容，把脉动直流变换成平滑的直流。R_S 是取样电阻，它决定恒流源的绝对精度。L 是镇流电感，把 100kHz 的脉冲电流变换成三角波电流，L 的电感量会影响工作电压范围内恒流源的稳定性。VD_5 是续流二极管，在芯片内部 MOS 管处于截止状态时为存储在电感中的电流提供放电回路。由于工作在高频脉冲状态，故 VD_5 应选用正向压降小、恢复速度快的肖特基二极管。芯片的 DIM 端可外接 PWM 脉冲或直流电压调光，也可以接热敏电阻做辅助温度控制和自动亮度控制。如果不用这些功能，则 DIM 端口悬空。



整流桥在此有两个功能，当输入为交流电源时，把交流整流成直流；当输入为直流电源时，起极性转换作用。

1）整流二极管的选择 目前市面上 MR16 射灯的最大输出电流通常设置为 350～900mA。由于 MR16 的驱动板空间有限，所以通常建议选用体积小、导通压降低的肖特基二极管（1A，40V）搭建整流桥，推荐型号为 MBRS140，其封装体积较小，300mV 左右的导通压降有利于最大限度地提高转换效率。但是如果输入、输出压差超过 8～10V 以上，从散热的角度及保证系统能够长时间稳定工作的方面考虑，则应选择体积稍大、散热条件较好的 SS14 产品，SS14 在成本方面也有优势，但是其导通压降在 500mV 左右。

为了保证最大的效率和较高的性能，二极管应选择快速恢复、低正向压降、低寄生电容、低漏电的肖特基二极管。其电流能力及耐压视具体的应用而定，但应保持 30%的余量，以稳定可靠地工作。



选择肖特基二极管应考虑温度高于 85℃时肖特基的反向漏电流。过高的漏电流会导致系统的功率耗散增加。AC 12V 整流二极管一定要选用低压降的肖特基二极管，以降低自身功率耗散。

2）镇流电感的选择 电感是该电路中的关键元件，从原理上讲，电感量越大，恒流精度越高。例如，用 47μH 的电感，输入电压在 8～30V 范围内变化，恒流精度是 30%；如果用 220μH 的电感，恒流精度就能提高到 9%以下。影响电感质量的重要因素是磁性材料，建议采用锰锌 4000、居里点 400 的磁性材料。磁性电感的最大缺点是很容易产生硬饱和，这在用户的设计中经常发生。一旦发生磁饱和，后果往往是灾难性的，会瞬间烧坏芯片或 LED。因而，推荐按表 4-1 中的数值选择电感，尤其注意电感的饱和电流一定不要小于表中的值。一般饱和电流小的电感铜线较细，Q 值也较小，这种电感即使未发生磁饱和稳流效果也会很差。

PT4115 推荐使用的电感参数范围为 27～100μH。电感的饱和电流必须比输出电流高 30%～50%。LED 输出电流越小，建议采用的电感值越大。在电流能力满足要求的前提下，希望电感取得大一些，这样恒流的效果会更好一些。



在 PCB 布板时电感应尽量靠近 VIN 和 SW，以避免寄生电阻所造成的效率损失。

3）旁路电容 在电源输入中必须就近接一个低等效串联电阻（ESR）的旁路电容，ESR 越大，效率损失越大。该旁路电容要能承受较大的峰值电流，并能使电源的输入电流平均，以减小对输入电源的冲击。直流输入时，该旁路电容的最小值为 4.7μF；在交流输入

或低电压输入时，旁路电容需要 100μF 的钽电容或类似电容，电容的耐压不低于 25V。该旁路电容要尽可能靠近芯片的输入引脚。

4）芯片过热保护（TSD） PT4115 内部设置了过热保护功能（TSD），以保证系统稳定可靠地工作。当芯片温度超出 160℃时，芯片进入 TSD 保护状态并停止电流输出；而当温度低于 140℃时，芯片会重新恢复至工作状态。

5）负载电流的热补偿 高亮度 LED 有时需要提供温度补偿电流以保证可靠稳定地工作，这些 LED 通常被设计在驱动板之外。PT4115 的内部温度补偿电路已使输出电流尽可能地稳定。PT4115 还可以通过 DIM 引脚外接热敏电阻（NTC）或二极管（负温度系数）到 LED 附近，检测 LED 温度动态、调节 LED 电流以保护 LED。随着温度升高，DIM 端电压降低，从而降低 LED 输出电流，实现系统的温度补偿。

6）PCB 注意事项 PT4115 是工作在几百千赫兹高频下的功率器件，设计 PCB 时要注意电流容量、散热和 EMI。首先要注意 PCB 上的铜箔厚度和过孔的直径与数量。推荐按照 2.5A/cm^2 的规范设计电流回路的有效截面积，因而 VD_1～VD_4、R_S、LED、L、SW、VD_5 等节点的 PCB 铜箔宽度不小于 3mm，并镀锡加筋，金属化过孔直径不小于 0.3mm，用 4 孔并联，用焊锡填充。MR16 射灯的灯座中，空间小，散热条件差，要挖掘一切潜力保证散热。芯片的 Exposed Pad（Exposed Pad 是指具有裸露焊盘封装元器件，用来改善器件散热的焊盘，通常为非电气绝缘，可根据电气连接要求将其接地或接电源）要可靠地焊接在 PCB 敷铜上以减小热阻、协助散热，双面敷铜总面积不应小于 180mm^2，并且用多个金属化过孔连接起来。当输入功率减去输出功率大于 1.5W 时，不适于安装在 MR16 灯座中。PT4115 的开关频率在 1MHz 以下，芯片在扩频模式下工作，设计中已经考虑到 EMI。PCB 设计中用滤波和屏蔽手段可进一步减小 EMI。

合理的 PCB 布局对于最大限度地保证系统稳定性及低噪声来说很重要。使用多层 PCB 是避免噪声干扰的一种很有效的办法。为了有效减小电流回路的噪声，输入旁路电容应当另行接地。PCB 铜箔与 PT4115 的散热 PAD 和 GND 的接触面积要尽可能大，以利于散热。

SW 端处在快速开关的节点，所以 PCB 走线应当尽可能地短，另外芯片的 GND 端应保持尽量良好的接地。

7）注意事项 PT4115 是通过 40V 的 CMOS 工艺制造的，电子功率器件要安全可靠地工作，必须留有足够的冗余度。如果没有良好的散热条件，则不推荐在高于 AC 25V、DC 30V 和电源电压波动大于 12%的环境中使用。

4.2.3 MR16 灯杯 3×1W 的组装工具和材料

1）组装工具 组装工具如图 4-3 所示。

（1）焊台是用来焊接元器件或导线的。

（2）镊子是手机维修中经常使用的工具，常用来夹持导线、元件及集成电路引脚等。

（3）斜口钳主要用于剪切导线、元器件多余的引线，通常用来代替一般剪刀剪切绝缘套管、尼龙扎带等。

（4）十字螺钉旋具用来拧转螺钉。



（a）焊台



（b）防静电镊子



（c）斜口钳



（d）十字螺钉旋具



（e）数字万用表



（f）可调电源



（g）热风枪



（h）加热台

图 4-3　组装工具

（5）万用表是一种多功能、多量程的测量仪表，在这里主要用于测试电路是否开路、短路，测试 LED 的正、负极性。

（6）可调电源用来测试 MR16 灯杯工作是否正常或测试 COB 光源是否全亮。

（7）热风枪主要利用发热电阻丝的枪芯吹出的热风来对冷缩管进行加热，使之收缩。

（8）加热台为温度稳定的受控加热设备，主要适用于铝基线路板预热、焊接与返修，如铝基板 LED 灯珠焊接、PCB 预热。

2）辅助材料　辅助材料如图 4-4 所示。

（1）焊锡是在焊接线路中连接电子元器件的重要工业原材料，广泛应用于电子工业、家电制造业、汽车制造业、维修业和日常生活中。

（2）导线一般由铜或铝制成，用来疏导电流。导线是连通用电设备正常工作的基础，用电设备离不开导线。

（3）散热硅脂（导热硅脂）俗称散热膏，是以有机硅酮为主要原料，添加耐热、导热性能优异的材料制成的导热型有机硅脂状复合物。它主要应用在各种不规则零件表面与散热器、外壳等之间起导热填充作用。导热硅脂不是散热主体，它只是帮助散热片散热而已。

（4）松香（助焊剂）是清除氧化膜的一种专用材料，主要是增加焊锡流动性，有助于焊锡湿润焊件。

（5）有机硅胶在电子组装上的应用主要是用作绝缘涂料、粘着与密封、灌封、导热。在

这里用来黏合、固定电源。

（6）手动锡膏丝印机在印刷锡膏的过程中，基板放在工作台上，机械地或真空夹紧定位，用定位销或视觉来对准，用钢网进行锡膏印刷。

自动锡膏印刷机一般由装版、加锡膏、压印、输出电路板等机构组成。其原理是将要印刷的电路板固定在印刷定位台上，然后由印刷机的左右刮刀把锡膏或红胶通过钢网漏印于对应焊盘，对漏印均匀的 PCB，通过传输台输入至贴片机进行自动贴片。

（7）钢网（Stencils）也称 SMT 模板（SMT Stencil），是一种 SMT 专用模具。其主要功能是帮助锡膏沉积，将准确数量的锡膏转移到空 PCB 上的准确位置。



（a）焊锡



（b）导线



（c）散热硅脂（导热硅脂）



（d）松香



（e）有机硅胶（189）



（f）手动锡膏丝印机

图 4-4　辅助材料



（1）锡膏的成分可分为两大部分，即助焊剂和焊料粉。焊料粉又称锡粉，主要由锡铅合金组成，也有在锡铅合金中添加一定量的银、铋等金属的锡粉。

（2）低温锡膏印刷后应尽快在 2h 内过回流焊，使用自动搅拌机搅拌时间为 45s，直到锡膏在搅拌刀上呈流动式液态为最佳。

（3）锡膏搅拌机可以有效地将锡粉和助焊膏搅拌均匀。

（4）锡膏印刷中焊膏、钢网模板、印刷设备是三个重要部分，只有进行完美的配合才能达到良好的印刷效果。

（5）目前，自动和半自动印刷机刮刀与钢网的角度大多采用 60° 。锡膏用锡膏搅拌机搅拌时超过 1min 以上才可以使用，如果锡膏搅拌采用手动搅拌则必须搅拌 100 下以上才能使用。

（6）目前常用的无铅焊料配比有锡（Sn）银（Ag）铜（Cu）、锡（Sn）银（Ag）铜（Cu）铋（Bi）、锡（Sn）锌（Zn），使用最为广泛的为锡（Sn）银（Ag）铜（Cu）。

4.2.4 MR16 灯杯 3×1W 的组装

1．MR16 灯杯 3×1W 的主要部件

MR16 灯杯 3×1W 的主要部件如图 4-5 所示。

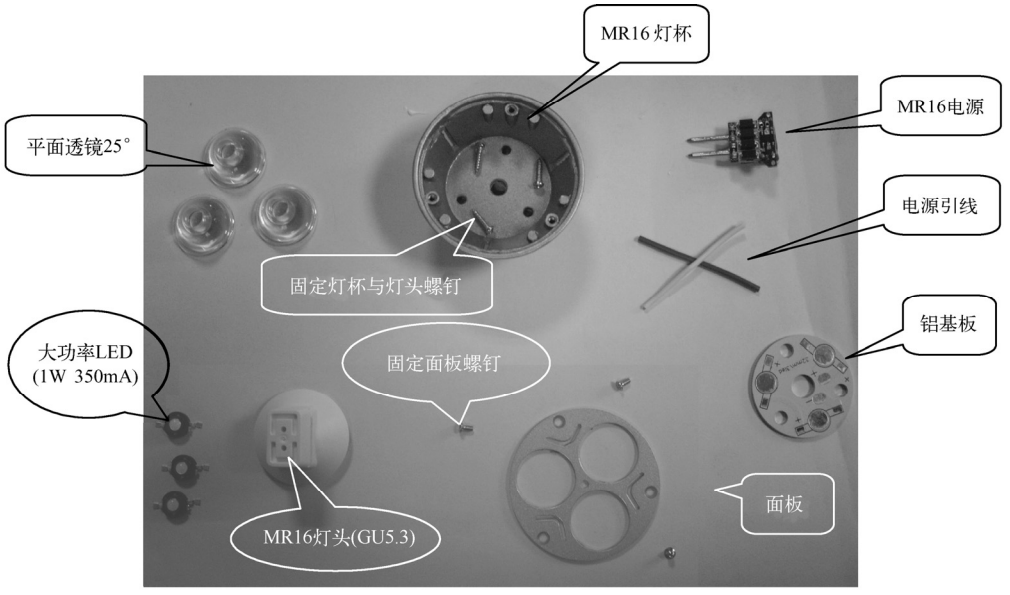


图 4-5 MR16 灯杯 3×1W 的主要部件

2．MR16 灯杯 3×1W 的组装流程

（1）外观检查。目测灯杯、面板、透镜、GU5.3 灯头外观有无刮伤、毛刺、裂痕、变形等不良现象；取一套样品进行试装，以确认各配件的螺钉孔大小、位置是否合适；目测线路（铝基板）、LED 极性是否标志清楚，铜箔有无鼓起，用数字万用表测试其是否有开路、短路等不良状况；核对大功率 LED 发光颜色、色温、封装等是否与所需一致，LED 灯表面有无刮伤，焊接引脚上锡是否光亮；电源尺寸大小是否与 GU5.3 灯头相配合，若配合正常，则可加负载通电确认电源标志参数与实际是否一致。确认 3 颗长螺钉、3 颗平头螺钉是否与螺钉孔大小配合，棕/白两根约 6cm 长的电源引线（电子线）是否适中。

（2）铝基板涂散热硅脂。取散热硅脂均匀涂在铝基板标志的 LED 灯中心散热位置上

（应涂在铝基板所标志 LED 封装的中心圆上），如图 4-6 所示。

（3）铝基板上焊接 LED。取 3 个 LED 按正负极与铝基板上所标示的“+/–”丝印位置进行焊接。具体做法是，在铝基板的“+”极性点上少量焊锡，然后将 LED 的正极与预先点好的焊锡“+”极位置进行焊接，再将 LED 的负极焊接在铝基板上。焊好 LED 的铝基板如图 4-7 所示。

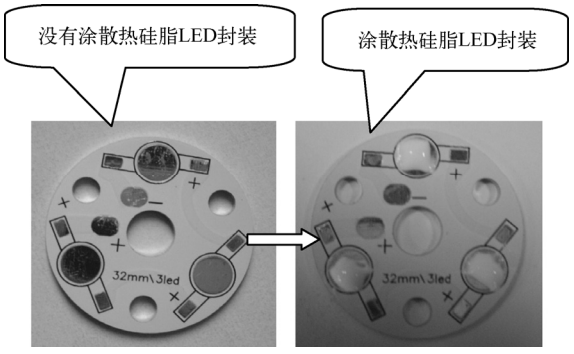


图 4-6　铝基板涂散热硅脂

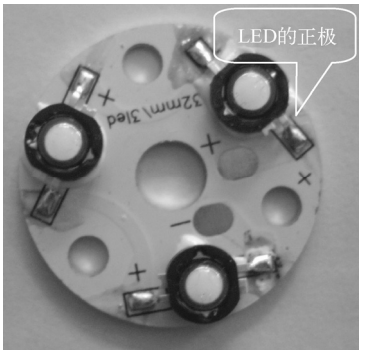


图 4-7　焊好 LED 的铝基板

说明

要求焊点饱满，没有虚焊、假焊、短路的现象，LED 焊接位置正确；焊接时必须佩戴防静电环。现在也可以采用加热台的方式焊接 LED，必须采用印刷锡膏的方式。

（4）铝基板焊接引线并通电测试。用斜口钳将棕/白两根电源引线（电子线）的线头剥开 0.2～0.4cm，对已剥开线皮的线头进行上锡处理，将上锡后的棕色引线焊接在铝基板的“+”端，白色引线焊接在铝基板的“–”端，如图 4-8 所示。通电测试 3 颗 1W 串联 LED 发光是否正常，如图 4-9 所示。

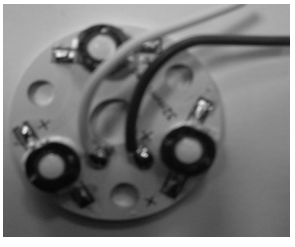


图 4-8　焊接好的电源引线铝基板



图 4-9　通电测试 3 颗 1W 串联 LED

说明

将直流可调稳压恒流电源调至恒流输出 9V、280mA，并将其表笔按正负极接已焊灯珠的 MR16 半成品电源引线末端进行通电，检测铝基板上的 LED 灯，全亮为合格。若发现不亮，则需对铝基板、LED 灯及焊接点进行检查，并针对不良项进行修理。

（5）灯杯打胶及固定铝基板。将灯杯内侧底部均匀涂上散热硅脂，如图 4-10 所示。将

棕/白两根电源引线从灯杯中心孔中穿过，并使铝基板与灯杯相结合，铝基板与灯杯的 3 个螺丝孔位置正对，如图 4-11 所示。

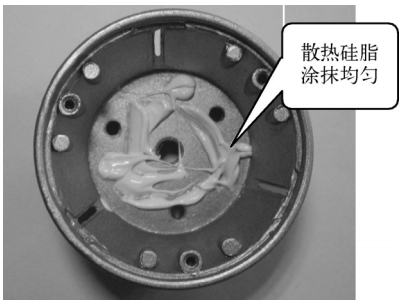


图 4-10　涂上散热硅脂

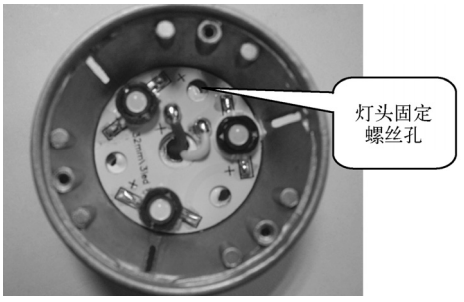


图 4-11　固定铝基板

说明

硅脂有很多类型，不同的参数和物理特性决定了不同的用途。散热硅脂的液体部分由硅胶和硅油组成。

（6）铝基板引出线与电源的连接。将电源引线未焊接的一端与 MR16 电源输出端进行连接，棕色引线接 MR16 电源标有“+”符号的位置，另一根引线接 MR16 电源标有“−”符号的位置，如图 4-12 所示。

（7）组装灯头。先在灯头内涂上适量的 189 胶或硅橡胶 704，然后插入 MR16 电源，使电源两引脚从灯头后部孔中穿出，如图 4-13 所示。

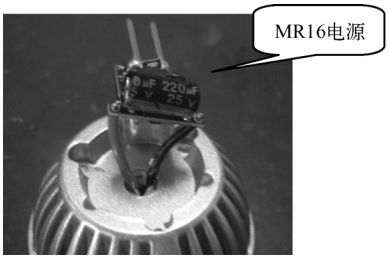


图 4-12　电源的连接



图 4-13　组装灯头

说明

在 MR16 灯头打 189 胶或硅橡胶 704，用来固定电源，防止电源松动。同时也要将 MR16 电源插针上的 189 胶或硅橡胶 704 擦干净，防止在工作时接触不良。

（8）用螺钉固定 GU5.3 灯头、灯杯。将灯头的 3 个螺钉导柱对准灯杯底部的 3 个孔径插进。在螺丝孔位置用 3 颗长螺钉固定 GU5.3 灯头和灯杯，如图 4-14 所示。

说明

拧紧螺钉时要掌握力度。

（9）组装透镜。将透镜内凹陷处对准 LED 灯位置分别平放，如图 4-15 所示。

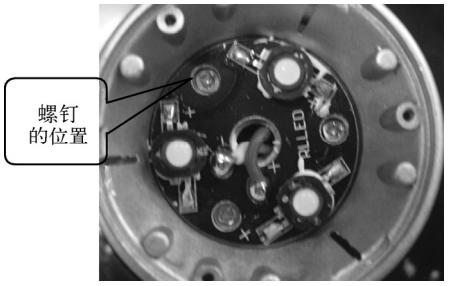


图 4-14　用螺钉固定灯头、灯杯



图 4-15　组装透镜

> 说明
>
> 安装透镜时要戴白手套，以保证镜面干净。

（10）组装面板、固定面板。将面板平放在灯杯表面，压住透镜边缘，且确保面板螺丝孔与灯杯的螺丝孔对正，如图 4-16 所示。在螺丝孔位用 3 颗平头螺钉固定面板，如图 4-17 所示。

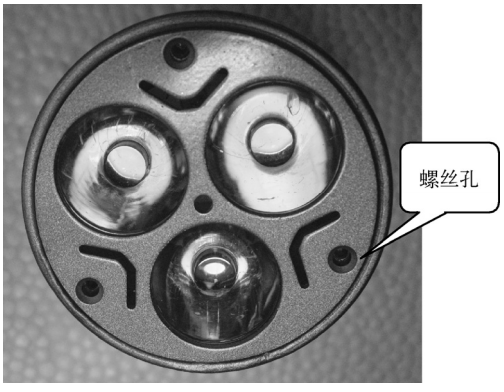


图 4-16　组装面板

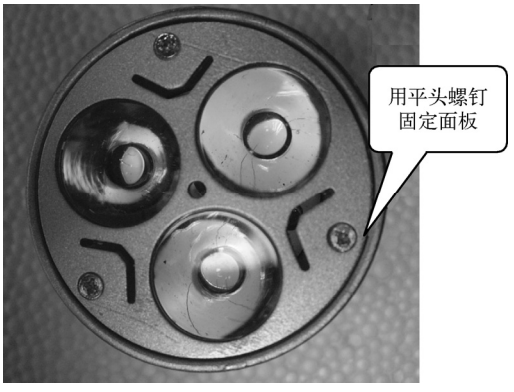


图 4-17　固定面板

> 说明
>
> 拧紧螺钉时要掌握力度，装好面板螺钉后，透镜不能压得太紧，可以有晃动。



图 4-18　通电检验

（11）通电检验。用 AC/DC 12V 接 MR16 射灯两引脚进行通电检测，3 颗 1W 串联 LED 全亮为合格。若发现不亮，需对 MR16 射灯进行检查，并针对不良项进行修理，如图 4-18 所示。

（12）全检。检验螺钉松紧、灯杯及面板是否牢固、外观有无残缺，确保成品表面干净，无异物。

至此，本节就系统介绍完了 MR16 3×1W 灯杯的设计与组装。

4.2.5 MR16 灯杯的检验要求

MR16 灯杯的检验要求如表 4-2 所示。

表 4-2 MR16 灯杯的检验要求

序号	检验项目	内 容 叙 述	检验方法	判 定 标 准
1	透镜或反光罩	➢ 无明显光斑。 ➢ 无划痕、气泡、针眼、凹坑、异物。 ➢ 透镜表面颜色、光泽度均匀一致，无色差。 ➢ 透镜与固定盖之间无缝隙。 ➢ 固定透镜要到位并无螺丝打花现象	目视	➢ 透镜表面光泽度异常区域小于整灯面积的 1/10 为允收，其他拒收。 ➢ 划痕、气泡、针眼、凹坑直径小于 1mm 为允收，其他拒收。 ➢ 出现色差、光泽度不一致的一律拒收。 ➢ 出现明显光斑
2	散热器（灯杯）	➢ 散热器与固定盖表面无划痕。 ➢ 表面无黑点：数目小于 2 个，直径小于 1mm。 ➢ 表面无脏污、异物，内部无金属屑、胶体残留。 ➢ 散热器与塑料件的连接处无缝隙，无松动。 ➢ 散热器与固定盖的连接处无胶残留。 ➢ 散热器本体散热片无变形、歪斜。 ➢ 散热片之间的螺丝孔区域无破损	目视	➢ 划痕长度小于 3mm，数量少于 3 个。 ➢ 黑点数目小于 2 个，直径少于 1mm。 ➢ 除黑点、划痕、脏污外，其他不良一律拒收。 ➢ 散热片变形拒收。 ➢ 铝灯座的棱边不能有割手的批锋
3	MR16 塑料件	➢ 塑料件表面无脏污、异物、黑点、划痕、助焊剂残留。 ➢ 边缘部分无明显缺口、无破损。 ➢ 散热器与塑料件连接处无胶体残留。 ➢ 螺丝完全锁到位，一般规定要出头 1～2 个螺纹。 ➢ 灯尺寸符合要求，表面喷塑颜色与设计要求一致。 ➢ 铝灯体与塑胶灯座装配面无间隙，透镜装配到位，螺丝锁到位，无打花、打滑。透镜及螺丝不可高于散热件 0.2mm	目视	➢ 划痕长度小于 1mm，数量少于 2 个。 ➢ 黑点数目小于 2 个，直径小于 1mm。 ➢ 脏污、异物无法清除者拒收。 ➢ 将射灯固定，单个导电脚能承受 20N 拉力，导电铜脚不能有松脱
4	功率	➢ 测试功率符合设计要求及技术要求。 ➢ 灯在额定电压下工作时，实际功率在额定功率±10%范围内	功率测试仪	➢ 输入 DC 12V 电压，将射灯插入与电源连接的灯座点亮，功率应在设计范围内
5	性能	➢ 全方位照射的灯杯 3×1W 以上的光效要求不小于 50lm/W，超过 3W 的要求光效不小于 55lm/W。 ➢ 室内灯显色指数要求在 80 以上。 ➢ 点亮 30min 后光通量应大于额定值的 100%。 ➢ 射灯插入测试架的灯座上，用额定电压点亮，距离 40cm 投射到白色平面上的光斑均匀。 ➢ 用浸水的布轻擦灯体上印字 15s，等干后再用浸酒精的布轻擦 15s，移印内容应清晰可读，不能有模糊不清、掉油或移印擦花现象	积分球	➢ 功率小于 10W 的光效要求不小于 50lm/W，大于 10W 的要求不小于 55lm/W。 ➢ 不能有杂斑、亮点不在中心位。 ➢ 测试其光通量、色温、显色指数在设计要求范围内
6	开关寿命试验	➢ 抽取 10PCS 做快速开关寿命试验，寿命按设计要求不少于 6000/10000h，开关次数要求不少于 4000/8000 次（15s 开/15s 关）	开关寿命试验台	
7	电气强度测试	➢ 电气强度测试为 DC 500V	耐压测试仪	➢ GB 7000.1—2015 的规定，电压为 12V AC/DC 的 MR16 射灯，可划分为 III 类灯具

续表

序号	检验项目	内 容 叙 述	检验方法	判 定 标 准
8	包装	➢ 产品包装符合要求，本体无损伤、划伤、污渍、黑点，本体印字应清晰、正确、完整。 ➢ 包装盒/包装彩卡干净、无污渍、无破损、印字清晰、无重影现象。 ➢ 外壳移印商标、字唛、图案完整无缺、符合设计要求。 ➢ 包装数量与要求一致，封闭完好，正唛、侧唛及客供商标图案符合设计要求。 ➢ 贴纸位置及贴纸内容正确	目视	

4.3 E27/GU10 3W 射灯的设计与组装

目前市场上所生产的 LED 射灯均为自镇流式灯具，也就是说 LED 驱动电源安装在灯体内部，直接接通 AC 220V 交流即可使用。LED 射灯主要由透镜或反光杯、LED、散热器、驱动电源、灯头组成。由于生产厂家众多，每个厂家采用的材料、工艺、LED 封装方式不同，使得市场上的 LED 射灯在设计和加工上有很大差别。

在 LED 射灯的认证方面，国际上主要以欧洲 CE 和北美 UL 认证为主，同时也有 ERP 及 DLC 认证，在国内可以进行自愿性认证 CQC。在 CQC 认证中对 LED 射灯的色温、显色指数、初始光通量、光效、光通维持率、寿命、中心光强、标称功率、功率因数、产品标识等进行规定。相关的认证规则可以参照中国质量认证中心的照明电器自愿性产品认证规格。



进出口照明器具检验可以参照 SN/T 3325.3—2013《进出口照明器具检验规程 第3部分：自镇流 LED 灯》、SN/T 1588.2—2013《进出口灯具检验规程 第2部分：通用要求》。

随着 LED 照明应用技术的突飞猛进，LED 室内照明市场巨大，前景毋庸置疑。室内照明使用最普遍的灯具就是 E27、GU10 等高压 AC 220V 直接输入的 LED 射灯。E27、GU10 LED 射灯工作时需要 AC 220V 交流电直接转换成直流电（DC）的 LED 恒流源，才能驱动大功率的 LED 光源发光。

LED 射灯采用 24° 配光，光斑更加均匀。为了减少 LED 照明灯具在人的视野内产生眩光，一般要求 LED 照明灯具的遮光角大于 30° 。目前大部分公司生产的 LED 射灯采用高亮 SMD 芯片（COB 光源），结合 LED 透镜及反射器，有利于 LED 射灯光输出，提高光通量。

LED 射灯主要执行的国家标准有 GB/T 31111—2014《反射型自镇流 LED 灯规格分类》、GB/T 29296—2012《反射型自镇流 LED 灯 性能要求》、GB/T 29295—2012《反射型自镇流 LED 灯性能测试方法》、GB/T 19658—2013《反射灯中心光强和光束角的测量方法》等，同时结合安全、安规、电磁兼容的标准共同执行。



☺ LED 照明产品进入欧盟市场，要求符合欧盟标准。其标准有低电压及安全要求、电磁兼容指令及电磁兼容要求、RoHS 指令及 ErP 指令中规定的能效要求。

☺ ErP 认证是 CE 认证的能效认证部分，从 2013 年开始强制执行。ErP 指令将连同 LED 照明灯具安规、电磁兼容等要求一同被执行。进入欧洲市场的 LED 照明灯具属于 CE 范围的，要携带 CE 标志。

☺ 欧盟发布了新的 ErP 指令和能效标贴指令，将于 2018 年 9 月 1 日实施。

本节主要介绍 E27/GU10 3W 射灯设计与组装。目前市面上用量大的主要有 E27 1W、E27 3W、E27 5W、E27 7W、E27 9W、E27 12W 等。部分市场上常用的 E27/GU10 射灯如图 4-19 所示。



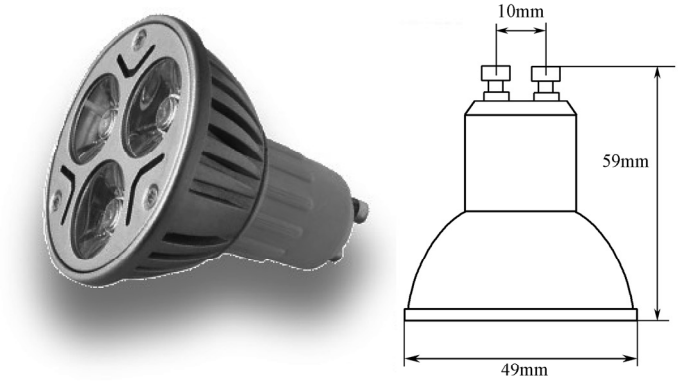
（a）E27 1×1W



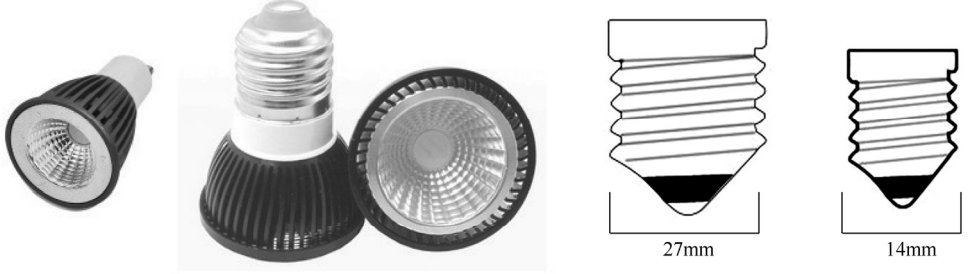
（b）E27 3×1W



（c）E27 12×1W



（d）GU10灯头



（e）COB E27/GU10射灯

图 4-19　部分市场上常用的 E27/GU10 射灯

LED 灯珠产生的热量通过铝基板导入散热器内部的扩散铝板表面，通过独特设计，热量均匀、迅速地传导至散热器表面，经与空气对流和辐射热交换，从而达到散热目的。安装铝基板或 LED 灯珠需注意，各部件须紧密结合，可辅助螺钉、胶水等紧固元件。各部件结合面建议涂抹导热系数较高的硅胶或垫片，厚度应控制得尽量薄些。



GU10 灯头中 G 表示灯头类型是插入式，U 表示灯头部分呈现 U 字形，后面的数字表示灯脚孔中心距为 10mm。E27 灯头中，E 表示螺纹灯头，E 后面的数字表示螺纹大径。GU10 欧洲用得比较多，供电电压在 230 ~ 240V AC。

4.3.1 E27/GU10 3W 射灯驱动电源的设计

SN3910 是一款峰值电流检测降压型 LED 驱动器，工作在恒定关断时间模式。它允许电压源在 DC 8～450V 或 AC 110/220V 范围内驱动高亮度 LED。

SN3910 可以根据 PWM 信号调整 LED 亮度，可以接受的 PWM 控制信号占空比为 0%～100%。它还包括一个 50～240mV 的线性调光输入，可用于 LED 电流线性调整和温度补偿。

SN3910 采用峰值电流模式控制，该控制器不需要任何环路补偿，便能取得良好的输出电流调节。PWM 调光的反应时间由电感电流的上升和下降速率决定，从而有非常短的上升和下降时间。

1．芯片 SN3910 的特点

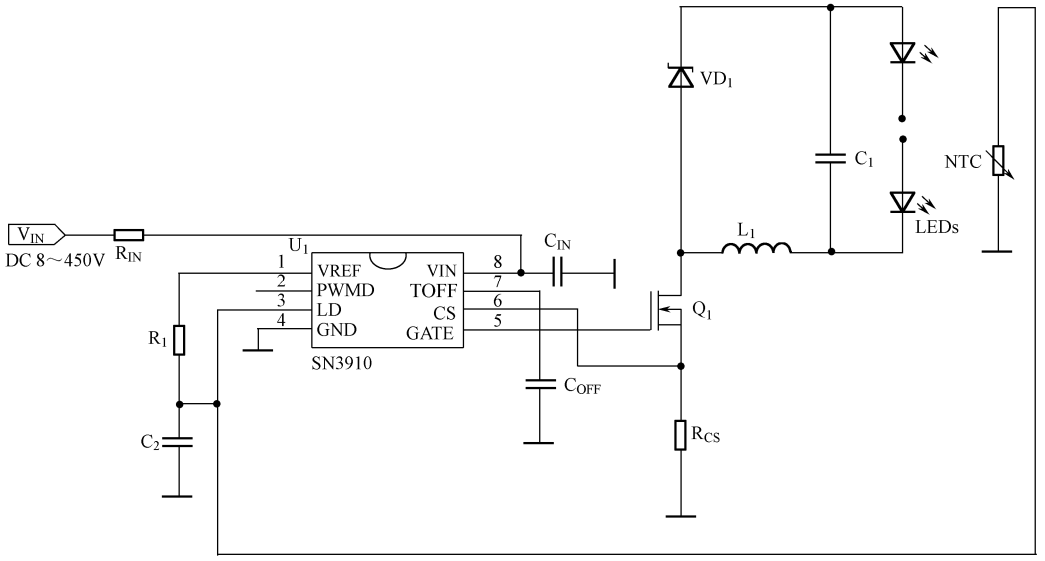
☺ 宽输入电压范围：DC 8 ~ 450V 或 AC 110/220V。
☺ 输出电流可达 1A。
☺ 温度补偿功能。
☺ 恒定关断时间模式。
☺ 线性和 PWM 调光。
☺ 极少的外围器件。

2．芯片 SN3910 的应用

☺ DC/DC 或 AC/DC 恒流 LED 驱动器。
☺ 通用恒流源。
☺ 信号和装饰照明。
☺ 背光 LED 驱动器。

3．芯片 SN3910 的典型应用电路

SN3910 的典型应用电路如图 4-20 所示。



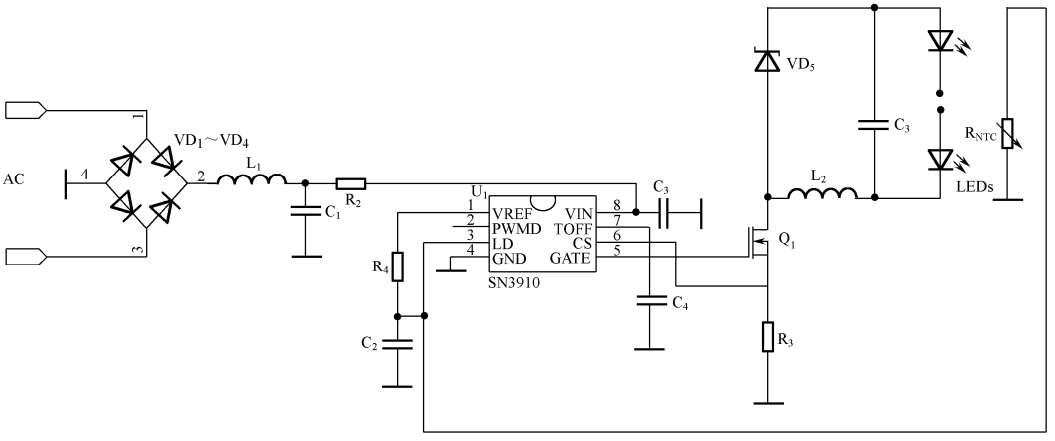
注：对于不同负载，C_{OFF}电容取值上有所不同，R_{CS}也需要相应调整，但这个电路不用调整，输出电流都为350mA。

序　　号	负 载 个 数	电 容 数 值
1	负载3.5～10.5V：1～2 LEDs串联	910pF
2	负载10.5～24V：3～6 LEDs串联	820pF
3	负载24.5～45.5V：7～13 LEDs串联	680pF

图 4-20　SN3910 的典型应用电路

4．3W 350mA 电源的设计

其电路原理图如图 4-21 所示，现在主要列出 3W 350mA 电源参数，如表 4-3 所示。



（1）在整流桥正端和 C_1 之间可串联一个小电感 L_1（22μH），抑制差模干扰。

（2）若不使用温度补偿功能，则去掉 R_4、C_5、R_{NTC}，将 LD 引脚接到 PWMD 上。

图 4-21　3W 350mA 的电路原理图

表 4-3　3W 350mA 电源参数

序　号	元 件 号	参　数	数　量	描　述	备　注
1	VD_1～VD_4	600V 0.5A	1	MB6	整流桥
2	C_1	4.7μF 400V	1	电解电容	
3	R_2	300kΩ	1	1W	
4	C_2	10μF 40V	1	贴片电容	0805
5	C_4	820pF	1	贴片电容	0603
6	L_2	1.5mH	1	CoilcraftRFB1010-152L	
7	VD_5	600V 1A	1	快速恢复二极管	ES1J
8	R_3	0.51Ω（350mA）	1	贴片电阻	0805
9	Q_1	600V 4A	1	4N60 贴片封装	NMOS
10	C_3	1μF	1	贴片电容（可选）	0805
11	R_4	82kΩ	1	温度补偿点 70 度电阻（可选）	
12	R_{NTC}	100kΩ	1	热敏电阻	
13	C_5	0.1μF			
14	IC_1（U_1）		1	SN3910	
15	L_1	22μH	1		

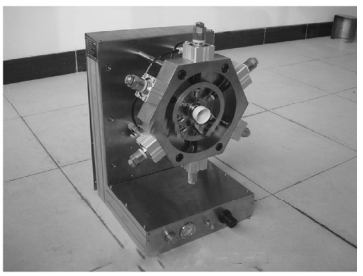
4.3.2　E27/GU10 3W 射灯的组装

1．组装工具和辅助材料

在 4.2.3 节中介绍过的组装工具和辅助材料这里不再赘述，本节中另需一种组装工具——打灯头机，如图 4-22 所示。打灯头机是一种用来固定灯头的工具。



（a）手动打灯头机



（b）自动打灯头机

图 4-22　打灯头机

2．E27/GU10 3W 射灯的组装流程

本节主要以 E27 3W 射灯的组装为例，详细介绍 E27 3W 射灯的组装流程及相关注意事项。E27 3W 射灯的部件如图 4-23 所示。

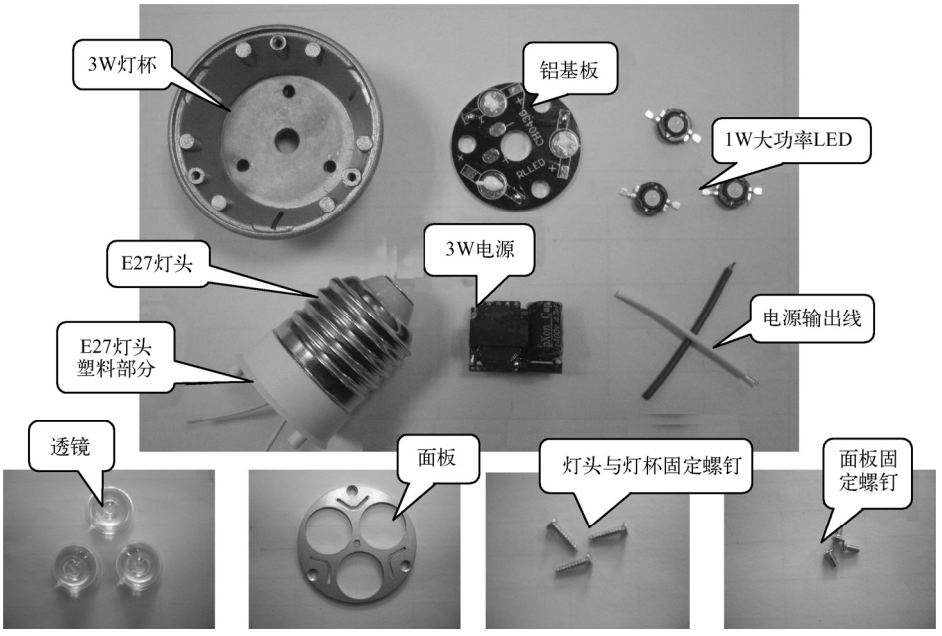


图 4-23　E27 3W 射灯的部件

E27 3W 射灯的组装流程如下。

（1）外观检查。目测灯杯、面板、透镜、灯头等外观有无刮伤、毛刺、裂痕、变形等不良现象，取一套样品进行试装，以确认各配件的螺丝孔大小、位置是否合适。目测线路板（铝基板）、LED 极性是否标示清楚，铜箔有无鼓起，用数字万用表二极管挡位测试铝基板是否开路、短路等。核对大功率 LED 发光颜色、色温、封装等是否与所需一致，LED 灯表面有无刮伤，焊接引脚上锡是否光亮，电源尺寸大小是否与灯头相配合，配合正常则加负载通电确认电源标示参数与实际是否一致；确认 3 颗长螺钉、3 颗平头螺钉是否与螺丝孔大小配合，棕/白两根约 6cm 长的电源引线是否适中。

（2）铝基板涂散热硅脂。取散热硅脂均匀涂在铝基板所标 LED 封装的中心圆上，如图 4-24 所示。

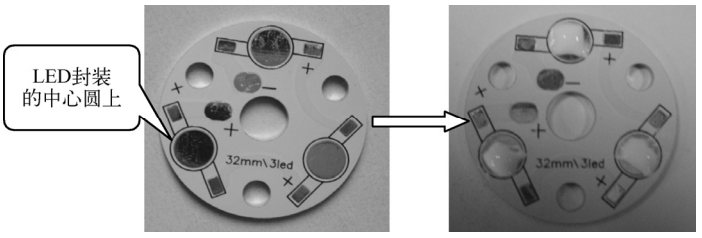


图 4-24　涂好散热硅脂的铝基板



☺ 设计 LED 灯板时要结合电磁兼容性、爬电、电气间距及安全性的要求，按照国家标准 GB 7000.1—2015《灯具第 1 部分：一般要求与试验》、GB 24906—2010《普

通照明用 50V 以上自镇流 LED 灯 安全要求》、GB 17743—2007《电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法》等执行。

☺ 灯具内部接线，正常工作电流大于 2A，标称截面积最小 0.25mm^2，绝缘层厚度最小 0.6mm；正常工作电流小于 2A，有机械保护的标称截面积最小 0.4mm^2，绝缘层厚度最小 0.5mm。

☺ LED 模块连接线最小截面积为 0.22mm^2，如果使用扁平电缆其最小截面积为 0.09mm^2。

（3）在铝基板上焊接 LED。取 3 个 LED 灯按正负极与铝基板上所标示的“+/–”位置进行焊接。具体做法是，在铝基板的其中一极性点上少量焊锡，然后将 LED 同极性端（如正极性）与预先点好的焊锡端进行焊接，最后再将 LED 的另一端焊接在铝基板上。焊好的铝基板如图 4-25 所示。



要求焊点饱满，没有虚焊、假焊、短路的现象，LED 焊接位置正确；焊接时必须佩戴防静电环。目前焊接 LED 的方式是使用加热台或回流焊。

（4）铝基板焊接引线并通电测试。用斜口钳将棕/白两根引线的线头剥开 0.2～0.4cm，对已剥开的线头进行上锡处理。将上锡后的棕色电源引线焊接在铝基板的“+”端，白色电源引线焊接在铝基板的“–”端，如图 4-26 所示。通电测试 3W 串联 LED 发光是否正常，如图 4-27 所示。



图 4-25　焊好的铝基板

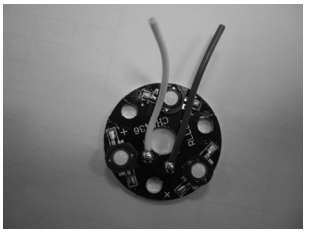


图 4-26　焊接好的引线

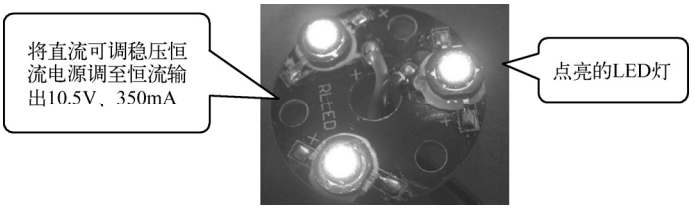


图 4-27　通电测试 LED



将直流可调稳压电源调至恒流输出，将其表笔按正负极接已焊灯珠的半成品引线末端进行通电，检测铝基板上的 LED 灯，全亮为合格。发现不亮时，需对电路、LED 灯及焊接点进行检查，并针对不良项进行修理。

（5）灯杯打胶及固定铝基板。在铝基板背面均匀涂上散热硅脂，如图 4-28 所示。将棕/白两根电源引线从灯杯中心孔中穿过，并使铝基板与灯杯相结合，铝基板与灯杯的 3 个螺丝孔位置正对，如图 4-29 所示。

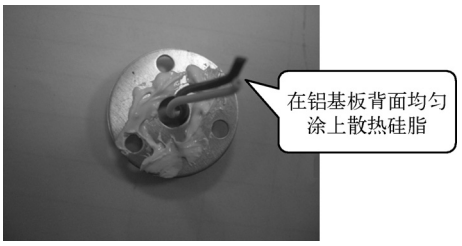


图 4-28　涂上散热硅脂

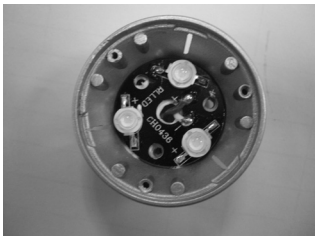


图 4-29　固定铝基板



在铝基板背面均匀涂上散热硅脂有两个作用，一是散热，二是保证透镜能够安装到位。

（6）铝基板引出线与电源的连接。将引线未焊接的一端与 E27 电源输出端进行连接，棕色电源引线接“+”，另一根电源引线接“−”，如图 4-30 所示。在灯头中打少量的 189 胶固定电源，防止电源与金属接触发生短路。

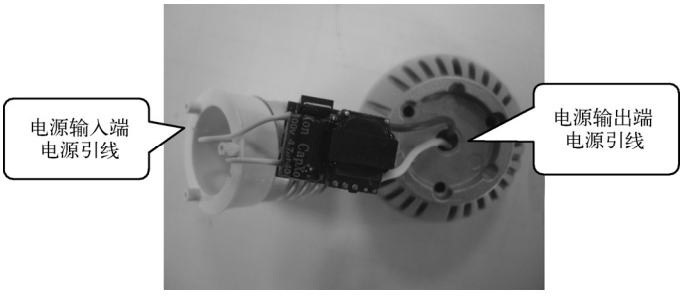


图 4-30　电源的连接



在焊接电源输出端前，必须将灯头的输入端电源引线接好，一般用 26 AWG 规格的电子线。

（7）组装灯头。用螺钉固定灯头、灯杯，在螺丝孔位置用 3 颗长螺钉固定灯头和灯杯，如图 4-31 所示。



拧紧螺钉时要掌握力度。

（8）组装透镜。将透镜内凹陷处对准 LED 灯头分别平放，如图 4-32 所示。



图 4-31　组装灯头



图 4-32　组装透镜

说明

安装透镜时要戴手套，以保证镜面干净。目前大部分的透镜都是一体化的。

（9）组装面板、固定面板。将面板平放在灯杯表面，压住透镜边缘，且确保面板螺丝孔与灯杯的螺丝孔对正，如图 4-33 所示。在螺丝孔位用 3 颗平头螺钉固定面板，如图 4-34 所示。



图 4-33　组装面板

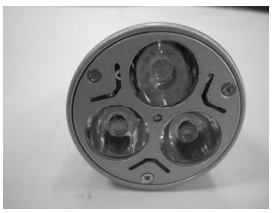


图 4-34　固定面板

说明

拧紧螺钉时要掌握力度，装好面板螺钉后，透镜不能压得太紧，晃动 LED 射灯应可以听到声音。

（10）通电检验。用交流 220V 进行通电检测，3PCS 1W 串联 LED 灯全亮为合格。发现不亮时，需对 E27 射灯进行检查，并针对不良项进行修理，如图 4-35 所示。

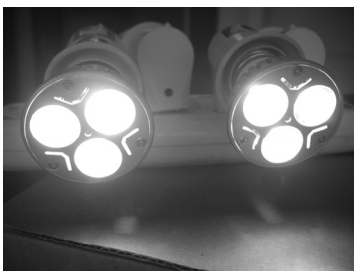


图 4-35　通电检验

（11）全检。检验螺钉松紧、灯杯及面板是否牢固、外观有无残缺，确保成品表面干净、无异物。

（12）打灯头。用打灯头机打 E27 灯头，固定 E27 灯头。

至此，本节就系统介绍完了 E27 3×1W 射灯的设计与组装。

4.3.3　LED 射灯的检验要求

LED 射灯的检验要求如表 4-4 所示。

表 4-4　LED 射灯的检验要求

序号	检验项目	内 容 叙 述	检验方法	备　　注
1	外观	➢ LED 射灯外壳上应有清晰、牢固、正确的标志和图示。 ➢ 外壳无歪斜、色斑、刮花、污渍、松动。 ➢ 灯头无破损、变形、生锈。 ➢ 灯壳无破损、剥离、斑点、污渍，与灯头配合符合要求等。 ➢ LED 射灯 LED 光源发光面无划伤、脏污。 ➢ LED 射灯无松动、无不密合现象。 ➢ 外形尺寸应符合公司设计要求。 ➢ 所用灯头应符合国家标准 GB/T 1406 系列	目视	➢ GB/T 1406.1—2008《灯头的型式和尺寸 第 1 部分：螺口式灯头》
2	功能测试	➢ LED 灯在额定电压和额定频率下工作时，其实际消耗的功率与标称额定功率之差不得大于 15%或 0.5W。 ➢ LED 灯在额定电压和额定频率下工作时，实际测得的电流与标称额定电流之差不应大于 10%。 ➢ LED 灯在额定电压和额定频率下工作时，其实际功率因数不得比标称值低 0.05	智 能 电 量测量仪	➢ 功率因数应大于企标所规定的范围
3	光通量	➢ 色温要符合国家标准 GB/T 29296—2012《反射型自镇流 LED 灯 性能要求》。 ➢ 色容差（SDCM）初始值应不大于 7。 ➢ 显色指数不小于 80。 ➢ GB/T 29296—2012《反射型自镇流 LED 灯性能要求》对光通量的要求：灯的初始光通量应不低于额定光通量的 90%，不高于额定光通量的 125%	积分球	➢ 光通量色温要符合国家标准或设计要求
4	安全测试	➢ LED 灯的两短接的电源输入端与可触及的壳体之间绝缘电阻不得小于 4MΩ。 ➢ LED 灯的两短接的电源输入端和可触及的壳体，施加频率为 50Hz 或 60Hz、电流为 5mA 的 3000V AC 电压，历时 60s，不得发生闪络或击穿现象	耐 压 测 量 仪 、 接 地 电 阻 测 试仪	➢ E27、B22 非粘接方式固定灯头施加不小于 3N • m，E14 非粘接方式固定灯头施加不小于 1.15N • m 的扭力试验后，可允许在灯头与灯体之间相对移动，但不得超过 10°，且符合可触及性的要求
5	标志试验	➢ 用蘸有水的湿布轻轻擦拭标志 15s，待其干后，再用蘸有汽油的布擦拭 15s，试验后标志仍应清晰可辨，不模糊和不易脱落	目视	
6	冲击试验	➢ LED 灯在老化前用 AC 100V 开关冲击 5 次，每次开关间隔 5s，用 AC 240V 冲击 5 次，每次间隔 15s。 ➢ 用 AC 220V 老化冲击 24h。 ➢ 开关冲击为 3h 一循环，试验电压从 AC 100～220～240V，来回波动 5 次，每次间隔 15s	老化房	➢ 高/低压老化。 ➢ LED 灯不得有频闪、频响或死机等异常现象，且试验后 LED 灯应能正常工作
7	开关试验	➢ 在额定输入电压下，将灯开启和关闭各 15s，此循环重复进行 40000 次，在试验结束后灯应能正常工作 15min	开 关 试 验测量仪	

4.4 PAR LED 灯的设计与组装

4.4.1 PAR LED 灯简介

PAR（Paraboloid Aluminium Reflector，碗碟状铝反射）灯又称帕灯，是指采用大功率 LED 作为光源并且需要专用 PAR 灯透镜的灯具。

1．PAR 灯的分类

PAR 灯包括 PAR16、PAR20、PAR30、PAR38、PAR64 等。常见的 PAR 灯为 PAR30、PAR38，LED PAR 射灯的常用功率为 3W、5W、7W、12W。按反射型自镇流 LED 灯的标称光通量分类，分为 250lm、400lm、700lm、1100lm 四种光通量规格。PAR 灯将金卤灯封装到反光杯中。其构造是在圆筒内安装镜面灯泡，也有用反光碗装溴钨泡的，主要特性是射出较固定的光束，光束角度宽窄多种，光斑大小不能调整。PAR 灯的尺寸可用英寸和毫米表示。PAR 灯名称、尺寸及光通量的关系如表 4-5 所示。

表 4-5　PAR 灯名称、尺寸及光通量的关系

序号	名称	英寸（in）	毫米（mm）	光通量（lm）	序号	名称	英寸（in）	毫米（mm）	光通量（lm）
1	PAR16	2	50	200	5	PAR38	4.75	120	640
2	PAR20	2.5	65	300	6	PAR46	5.75	145	
3	PAR30	3.75	95	480	7	PAR56	7	175	
4	PAR36	4.5	115		8	PAR64	8	200	



- ☺ LED PAR 灯外形类似传统卤钨灯，是在家庭和类似场合作为普通照明或重点照明用的把稳定燃点部件集成于一体的自镇流 LED 灯。
- ☺ 有反射杯或罩的灯泡一般都是定向灯，指在 120° 圆锥立体角范围内的有效光通量小于整个灯具光输出的 80%的照明灯具。
- ☺ LED 球泡灯、LED 蜡烛灯均为非定向灯。
- ☺ PAR30 卤素泛光灯、GU10 卤素射灯，从 2016 年 9 月 1 日起退出欧盟市场。

目前珠宝照明比较通用的功率是 9×3W、12×3W、15×3W、18×2W 等。常用的色温段为 2800～3200K 及 3000～3500K 两种。其显色指数要在 80 以上。水晶、部分翡翠、玛瑙等首饰要求的色温是 4000～6500K，铂金等首饰要求的色温是 9000～15000K，黄金类要求的色温是 3500～4500K，钻石等首饰要求的色温是 7000～10000K。

2．PAR 灯透镜的规格（外形及尺寸）

（1）PAR 灯系列中透镜使用数量有区别，如 PAR20 采用 3 个透镜，PAR30 采用 5 个或 7

个透镜，PAR38 采用 9 个或 12 个透镜。无论 PAR30 还是 PAR38 等，其使用的 LED 透镜的外形规格都是相同的，最大直径一般为 19.8mm 左右，卡口（台阶）直径为 17.8mm 左右。

（2）PAR 灯透镜的高度一般有两种（与灯杯的内部结构有联系）：10.5mm 或 12mm。

（3）PAR 灯透镜的安装方式除了利用灯杯前部面板卡口固定外，透镜的小内口与 LED 的接触方式也有两种。

☺ 透镜顶住 LED，此种透镜小内口直径一般为 6.0～7.0mm，透镜高度为 10.5mm。

☺ 透镜套住 LED，此种透镜小内口直径一般为 8.0mm（配流明或仿流明规格）；也有小内口直径为 6.8mm（科视专用透镜）的。

（4）PAR 透镜可选用平型面或凹型面，可选用镜面、磨砂面、矩阵面等。



PAR 灯透镜并不局限于 PAR 灯，也可以用在其他 LED 照明灯具中。目前大部分 LED PAR 灯透镜都是一体化集成的。

3．PAR 灯透镜的角度及光斑要求

（1）PAR 灯透镜角度范围比较宽。

☺ 15°（聚光）：采用 15° 的透镜。

☺ 25°（聚光）：采用 25° 的透镜。

☺ 35°（聚光）：采用 35° 的透镜。

☺ 45°（聚光）：采用 45° 的透镜。

☺ 60°（聚光）：采用 60° 的透镜。

（2）PAR 灯透镜以 38° 应用得最多。

（3）PAR 灯透镜结合使用时，要求中心区光斑均匀，多个透镜的聚光光斑能较好地重叠（光形圆正，亮度显著提高）。

（4）不同场景可选用不同的表面处理工艺，如镜面、磨砂面或矩阵面等，而获得不同的光斑效果（圆形光斑、漫射光斑等）。

4．市面上常用 PAR 灯介绍

现在市面上 PAR 灯灯杯材质使用 6063 铝型材模，即 AA6063。其导热系数为 200～300W/m・K，与常见的铝合金压铸模（导热系数为 175W/m・K）相比较，导热系数增大 40%～50%。利用这种更好的导热材料，可以加快 LED 的散热速度，减少光衰，增加 LED 使用寿命。表面经氧化处理后，导热系数增加 100 倍，大幅度加快了热量散发到灯杯表面的速度，能够根据不同需求氧化成不同颜色，如金色、银色、蓝色等，也不会随着长时间使用而变黑。散热面积采用蜂窝结构设计，增加了更多的对流孔和辐射面积，散热面积增加 40%，加快了热量散发到空气中的速度。鳍片式外形 PAR 灯灯杯为蜂孔式结构，能更有效解决 LED 散热问题，温度比同功率、同体积拉伸型灯具低 5～6℃；高导热航空型材外壳，质量轻，只相当于拉伸型灯具的 1/2。

PAR 灯透镜采用全反射式杯形透镜设计，对 LED 所发出的光线的聚光效果可以达到

90%以上（3mm 厚度时穿透率为 93%）；透镜表面采用凹面并进行环形局部磨砂处理，在不损失光斑中心区照度的情况下，使光斑外围渐晕而均匀扩散；有效地克服某些 LED 光斑的黄晕现象，光线柔和，光斑均匀。

反射型自镇流 LED 灯检测与生产的国家标准有 GB 7000.1—2015《灯具第 1 部分：一般要求与试验》、GB/T 29295—2012《反射型自镇流 LED 灯性能测试方法》、GB/T 29296—2012《反射型自镇流 LED 灯 性能要求》、GB/T 18595—2014《一般照明用设备电磁兼容抗扰度要求》、GB/T 24825—2009《LED 模块用直流或交流电子控制装置 性能要求》、GB 19510.14—2009《灯的控制装置 第 14 部分：LED 模块用直流或交流电子控制装置的特殊要求》、GB/T 31111—2014《反射型自镇流 LED 灯规格分类》、GB 17743—2007《电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法》、GB 17625.1—2012《电磁兼容 限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流≤16A）》，节能认证标准有 CQC31-465137—2013《反射型自镇流 LED 灯节能认证规则》、CQC3129—2013《反射型自镇流 LED 灯节能认证技术规范》。

LED 照明灯具的测量与检测设备有交流功率源、数字功率表、示波器、直流电子负载、积分球、恒温恒湿箱、雷击浪涌发生器、快速群脉冲发生器、频谱分析仪、耐压仪、频闪计（无频闪系数测试）等。

LED 照明灯具浪涌等级符合 IEC61000-4-5，小于 25W，L-N 为 0.5kV；大于 25W，L-N 为 1kV。



LED 照明灯具的开发要经过光电参数测试、高低温测试、开关冲击测试、温升测试、高温加速寿命测试、绝缘耐压测试、传导及辐射测试、谐波测试等测试。

市面上的部分 PAR 灯如图 4-36 所示。



（a）3W PAR30灯　（b）7W PAR30灯　（c）12W PAR38(6063铝型材模)灯

（d）COB PAR LED灯

图 4-36　市面上的部分 PAR 灯



PAR 灯的电源多采用 AC 110/220V，电源接口方式多采用 E27 或 GU10。目前 PAR 灯可以内置晶闸管无闪烁调光电源实现调光。

4.4.2 5W/7W PAR30 LED 的设计与组装

1．产品描述

☺ LED 数量：5/7 颗×1W。
☺ 颜色范围：暖白、正白、冷白。
☺ 工作电压：AC 85 ~ 265V，50Hz。
☺ LED 驱动电流：280mA。
☺ 电气效率：85%。
☺ 环境温度：⩽60℃。
☺ 角度：30°（15°、45°、60°）；平面、蜂窝或磨砂透镜。
☺ 节能高达 90%。

2．设计与组装

组装工具和辅助材料在前面章节已介绍过，不再重复。本小节主要介绍 5W PAR30 LED 的组装流程，7W PAR30 LED 的组装流程与 5W PAR30 LED 的组装流程一样，不再赘述。5W PAR30 的部件如图 4-37 所示。

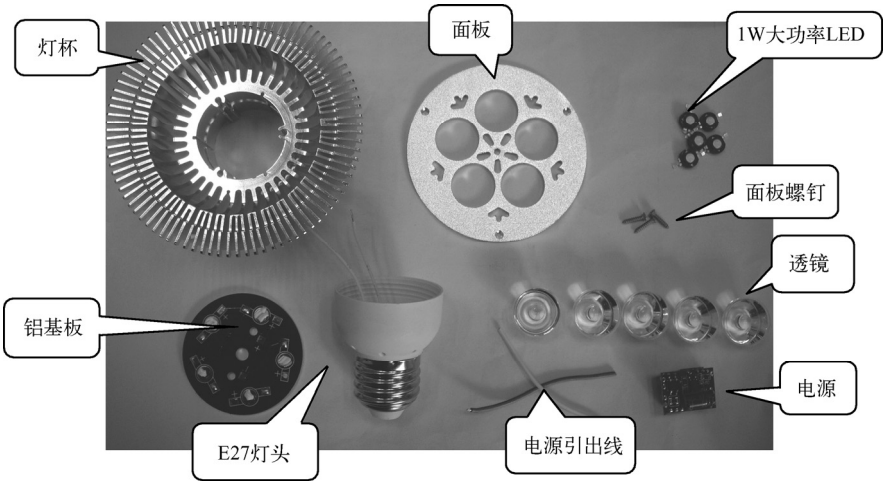


图 4-37　5W PAR30 的部件

5W PAR30 LED 灯组装流程如下。

（1）外观检查。目测灯杯、面板、透镜、灯头外观有无刮伤、毛刺、裂痕、变形等不良现象，取一套样品进行试装，以确认各配件的螺丝孔大小、位置是否合适。目测线路板线路、元器件极性是否标示清楚，铜箔有无鼓起；用万用表测试铝基板是否有开路、短路等不

良状况；核对 LED 发光颜色及亮度、色温是否与所需一致，LED 灯表面有无刮伤，焊接引脚是否光亮，加负载通电确认电源标值参数与实际是否一致，3 颗 PAR30 面板螺钉、棕/白两根约 6cm 长的电源引线是否合适。

（2）铝基板上涂散热硅脂。取散热硅脂均匀涂在铝基板标示的 LED 灯封装的中心圆位置，如图 4-38 所示。

（3）焊接 LED。取 5PCS LED 灯按正负极与铝基板上所标示的“+/–”位置进行焊接。将铝基板上所有 LED 中的一个 LED 封装引脚上锡，将要焊接 LED 的同极性端与预先上好焊锡的 LED 封装同极性端进行焊接，之后再将 LED 的另一端焊接在铝基板上，如图 4-39 所示。

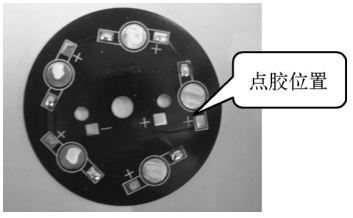


图 4-38　涂散热硅脂的铝基板

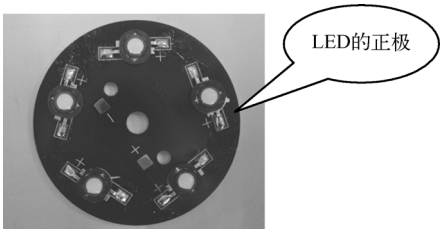


图 4-39　焊接 LED 的铝基板



要求焊点饱满，没有虚焊、假焊、短路的现象，LED 焊接位置正确；焊接时必须佩戴防静电环。

（4）通电测试。直流电源调到直流 15V（5W 灯），对焊接在铝基板上的 LED 进行测试。全亮时，说明 5W PAR 灯工作正常。发现 LED 不亮时，需对 5W PAR 灯进行检查，并针对不良项进行维修，如图 4-40 所示。

（5）焊接电源输入/输出引线。将灯头的引出线与电源输入端焊接好，在电源输出端用棕/白两根电源引线按“+/–”极焊接，如图 4-41 所示。

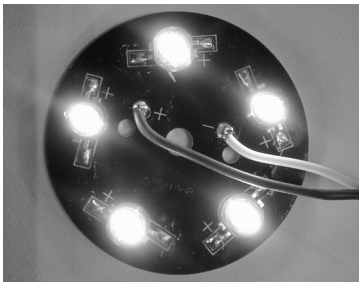


图 4-40　通电测试

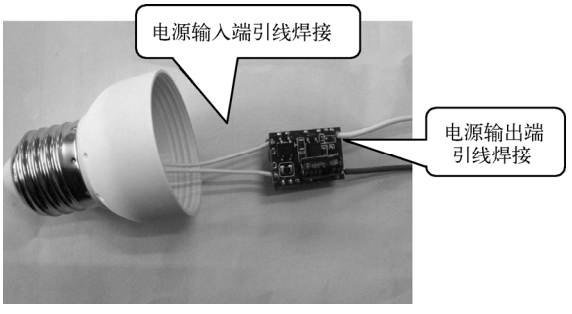
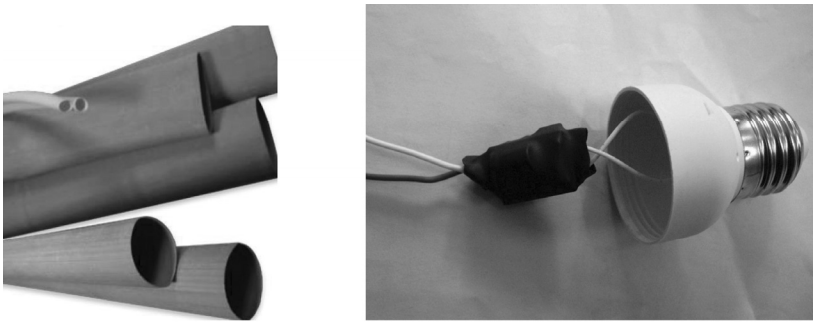


图 4-41　焊接电源输入/输出引线

（6）电源套热缩管并加热收缩。用ϕ20mm 热缩管套好电源，用热风枪加热使之缩紧。热缩管的长度一定要超过电源长度 1～2cm，如图 4-42 所示。



（a）热缩管　　（b）套好热缩管的电源

图 4-42　电源套热缩管并加热收缩

（7）在灯板上打散热硅脂。在铝基板背面均匀打上散热硅脂，如图 4-43 所示。

（8）固定灯板焊接电源输出引线。将线路板（铝基板）固定在 PAR30 灯杯的底板上面，电源输出引线从线路板中心孔穿出。在线路板焊接点上按正负极性焊接电源输出引线，如图 4-44 所示。

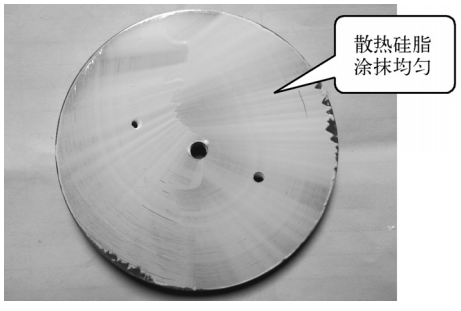


图 4-43　铝基板背面打散热硅脂

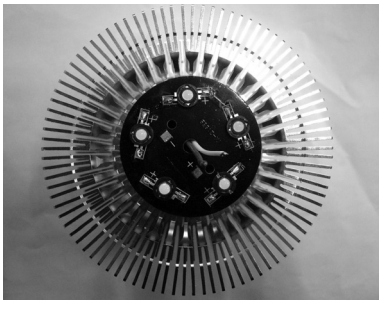


图 4-44　固定灯板及焊接电源输出引线

（9）固定灯头。在灯杯螺纹处打上少量 189 胶或硅橡胶 704，将灯头顺着已打 189 胶或硅橡胶 704 的灯杯螺纹拧紧，如图 4-45 所示。

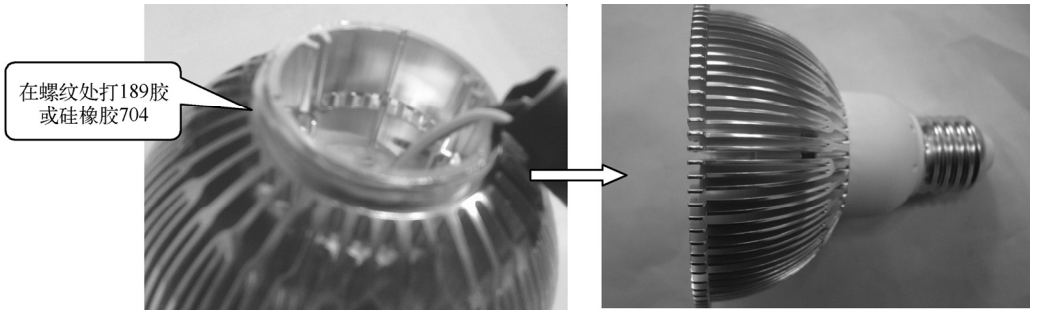


图 4-45　固定灯头



在灯头口处打上 189 胶或硅橡胶 704，防止在安装 PAR 灯旋进 E27 灯头时，因外力作用灯头与灯体连接松开。

（10）安装透镜。将透镜内凹陷处对准 LED 灯头分别平放，5W 灯放 5PCS，如图 4-46 所示。



图 4-46　安装透镜

说明

安装透镜时要戴手套，以保证镜面干净。

（11）安装与固定面板。将面板平放在灯杯表面，压住透镜边缘，且确保面板螺丝孔与灯杯的螺丝孔对正。在螺丝孔位用 3 颗平头螺钉固定面板，如图 4-47 所示。

说明

拧紧螺钉时要掌握力度。装好面板螺钉后，透镜可能会有晃动，这对质量没有影响。

（12）通电检验。外接交流 220V 点亮成品灯。点亮后亮度和色泽均匀为合格，否则对 LED 灯、电源引线及电源进行检查修理，如图 4-48 所示。

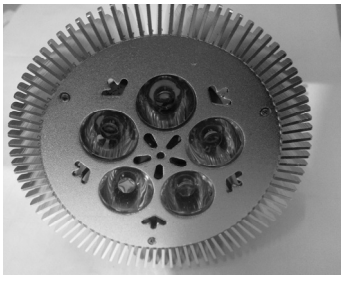


图 4-47　安装与固定面板

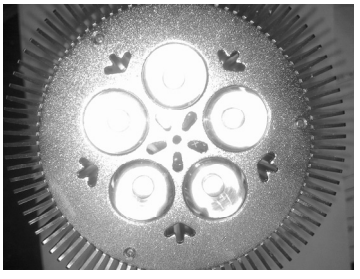


图 4-48　通电检验

说明

检查 PAR 灯发光是否正常，有无死灯、暗灯、色差、闪烁等不良现象，确认功率、电流、功率因数等参数是否在标准范围内。

（13）打灯头。用打灯头机打 E27 灯头，固定 E27 灯头。

（14）全检。检验灯头、面板结合是否牢固，LED 灯是否位于透镜中心，外观有无残缺。确保成品表面干净，无异物。

至此，本节就系统介绍完了 PAR 灯的设计与组装。



☺ 摆放 PAR 灯时，栈板上必须铺上一层防护垫，PAR 灯与 PAR 灯之间必须留有一定缝隙，以免刮花 PAR 灯。

☺ 老化时间常规产品为 48h，新产品为 72h。老化过程中应随时检查老化状况，同时记录老化过程中的异常情况。

4.4.3 PAR LED 灯的检验要求

PAR LED 灯的检验要求如表 4-6 所示。

表 4-6 PAR LED 灯的检验要求（反射型自镇流 LED 灯）

序号	检验项目	内 容 叙 述	检 验 方 法	备 注
1	外观	➢ 反射型自镇流 LED 灯的散热器与固定盖表面无划痕。 ➢ 反射型自镇流 LED 灯表面无黑点：数目少于 2 个，直径小于 1mm。 ➢ 反射型自镇流 LED 灯表面无脏污、异物，内部无金属屑、胶体残留。 ➢ 反射型自镇流 LED 灯散热器与塑料件的连接处无缝隙，无松动。 ➢ 反射型自镇流 LED 灯散热器与固定盖的连接处无胶残留。 ➢ 反射型自镇流 LED 灯散热器本体散热片无变形、歪斜。 ➢ 反射型自镇流 LED 灯散热片之间的螺丝孔区域无破损。 ➢ 反射型自镇流 LED 灯散热器表面电镀、阳极、涂层均匀或无变色、光泽好等。 ➢ 反射型自镇流 LED 灯免焊灯头压铆钉接触良好。 ➢ 目视组装匹配性、锁螺丝、LED 透镜、铆灯头、焊接等松动或缝隙过大、脱离	目视	➢ 固定透镜要到位并无螺丝打花现象。 ➢ 透镜表面颜色、光泽度均匀一致，无色差
2	螺口塑料件	➢ 塑料件表面无脏污、异物、黑点、划痕、助焊剂残留。边缘部分无明显缺口、无破损	目视	
3	E27 灯头	➢ 灯头无破损、异色、抛光不良。 ➢ 灯头底部无明显变形、凹坑、划痕。 ➢ 白色塑料体无破损，表面无脏污。 ➢ 灯头钉与白色塑料件之间无缝隙，连接好	目视	
4	机械强度	➢ 打开灯头扭力仪电源开关，按下设定键，将要被测试的反射型自镇流 LED 灯扭力设定好后，将反射型自镇流 LED 灯灯头卡入扭力仪接口处逐渐增大力度，不可突然施加，自镇流 LED 灯灯头与塑料件相对移动不可超过 10°。 ➢ E27、E26、B22 扭矩≥3.2N·m，E14、B15 扭矩≥1.25N·m，E17 扭矩≥1.5N·m，E39、E40 扭矩≥5.5N·m。 ➢ 整灯匹配拉力为 45N 或 75N	灯头扭力仪、拉力仪	

续表

序号	检验项目	内 容 叙 述	检 验 方 法	备　注
5	功能测试（电学参数）	➢ 灯在额定电压和额定频率下工作时，其实际消耗的功率与额定功率之差应不大于 15%或 0.5W。 ➢ 接地电阻应小于 0.5Ω、美规 0.1Ω，或者按国家地区具体安规要求执行。 ➢ 泄漏电流交流应小于 0.5mA，直流应小于 1mA，或者按国家地区具体安规要求执行。 ➢ 按技术要求相应频率、电压、电流、测试时间测试无击穿现象，AC 3kV/5mA/60s	功率测试仪、接地电阻测试仪、泄漏电流测试仪、耐压测试仪	➢ 实测功率因数应不低于标称值 0.05
6	光学测试	➢ LED 光通量、色温、显色指数、光效率符合订单及技术参数。 ➢ 灯的初始光通量应不低于额定光通量的 90%，不高于额定光通量的 125%。 ➢ 灯的光束角的宣称值应为 10°、18°、24°、36°、45°、60°数值之一，实测光束角与宣称光束角的偏差不应超过 10%或 3°	积分球/分布光度计	➢ 符合 GB/T 29296—2012《反射型自镇流 LED 灯 性能要求》的要求。 ➢ 符合 GB/T 31111—2014《反射型自镇流 LED 灯规格分类》的要求
7	照度分布测试	➢ 在暗室中，输入相应额定电压与频率的电源使灯具正常工作，将灯具发出的光投射到距灯具灯体平面 2.0m 的墙上，应能很明显观察到蝙蝠形的照度分布	照度分布测试仪	
8	喷码印字耐久性	➢ 用一蘸有水的布轻轻擦拭标志 15s，待其干后，再用一块蘸有己烷的布擦拭标志 15s，试验之后，标志仍应清晰	目视	
9	清洁	➢ 用无尘布或碎布，将产品表面清洁干净。 ➢ 对于无尘布或碎布无法清洁的脏污，可蘸取适量去渍水进行清洁	目视	➢ 产品表面不可有黑白点、毛屑、油污、灰尘等不良现象
10	包装	➢ 装箱单与实物符合。 ➢ 产品合格证。 ➢ 产品说明书安装要求、接线要求、字体书写、产品规格正确。 ➢ 包装要求、材质、层数符合包装图纸。 ➢ 外箱不允许有破损、变形、潮湿。 ➢ 外箱标识清晰、书写工整，外箱内容包括但不局限于：规格、型号、品名，日期，数量、质量，环保标识，小心轻放，易碎、防水、防压标志	目视	➢ 无贴纸歪斜、脱落、漏贴，漏涂色温、生产日期等不良现象。 ➢ 装箱要求与客户要求一致。 ➢ 按公司包装要求执行

COB PAR LED 灯组装流程如下。

☺ COB PAR LED 灯组装前，要对其组件尺寸进行验证，以确保正确地安装匹配。

☺ 在 COB 光源背面涂抹散热硅脂，并将 COB 光源安装到 PAR LED 灯散热器上。

☺ 焊接 COB PAR LED 灯 LED 驱动电源输入、输出线。

☺ 将 LED 驱动电源输出线穿过 PAR LED 灯散热器中的穿线孔，并焊接到 COB 光源的焊盘上。

☺ 使用 COB 光源支架（COB 光源连接器环）将 COB 光源定位在 PAR LED 灯散热器中心处，并用螺钉将 COB 光源支架（COB 光源连接器环）固定到 PAR LED 灯散热器上。

☺ 用 AC 220V 给 COB 光源通电，测试并验证 LED 连接是否正常、点亮是否正常。

☺ 将 LED 驱动电源安装到 COB PAR LED 灯内部，输入线焊接到 E27 灯头面上。

☺ 将安装 LED 驱动电源外壳用螺钉固定到 PAR LED 灯散热器上。
☺ 将反光杯放置在 COB 光源支架上，置于 COB 光源上方中心位置，将圆形玻璃片置于反光杯上。然后将前盖环卡入到 PAR LED 灯散热器上，同时将圆形玻璃片及反光杯固定到位。
☺ 组装 PAR LED 灯完成后，要进行相关的测试。

4.5 LED 轨道灯的设计与组装

4.5.1 LED 轨道灯简介

LED 轨道灯是针对商业照明、商品展示而设计的，LED 轨道灯采用可调式设计，使用优质 LED 光源，铝合金外壳与灯具电源完美结合，更突出其优雅特性。LED 轨道灯用作局部照明（也叫重点照明）。LED 轨道灯的外形如图 4-49 所示。LED 轨道射灯也具备射灯的作用，其光源会通过灯具的二次光学设计使其光线聚集。COB 产品主要应用于商业照明市场，供货商有 Citizen（西铁城）、CREE、夏普、Luminus（朗明纳斯）、日亚化学、广州硅能、Lumileds（飞利浦流明）、三星、宁波升谱、Bridgelux（普瑞）等。COB 光源主要应用于商业照明、酒店照明、装饰照明、生鲜食品照明等领域。通用照明 COB 光源的色温主要为 3000K、3500K、4000K。



图 4-49　LED 轨道灯的外形

多种透镜角度 15°、24°、40°，可根据 LED 轨道灯不同的应用场景，把光线进行合理的引导，满足使用环境对出光效果的要求。

COB 光源可以通过加入适当的红色荧光粉或其他工艺，目前在不降低 COB 光源光通量及寿命的前提下，其显色指数可以达到 97，R9>90 以上。为了达到相关的技术参数，都是小电流的方式，如 30W LED 轨道灯，达到光效 100lm/W、显色指数 80 以上，其 COB 光源功率要达到 60W。轨道头有两线、三线、四线、五线可选，可以实现调光与不调光的功能。LED 轨道灯轨道条中间接头可将两条轨道条接在一起使用，将两条 1m 轨道条接在一起即成为 2m 长轨道条。

LED 轨道灯的光电参数如表 4-7 所示。

表 4-7　LED 轨道灯的光电参数

序　　号	项　　目	项 目 名 称	参　　数	单　　位
1	电学特性	额定输入功率		W
2		额定输入电压		V
3		额定输入电流		mA
4		功率因数		
5		电源效率		
6	光学、色度特性	光通量		lm
7		照度		lx
8		光束角、配光角		°
9		相关色温		K
10		显色指数		
11		光生物危害		

4.5.2　LED 轨道灯的组装

LED 轨道灯组装流程图如图 4-50 所示。

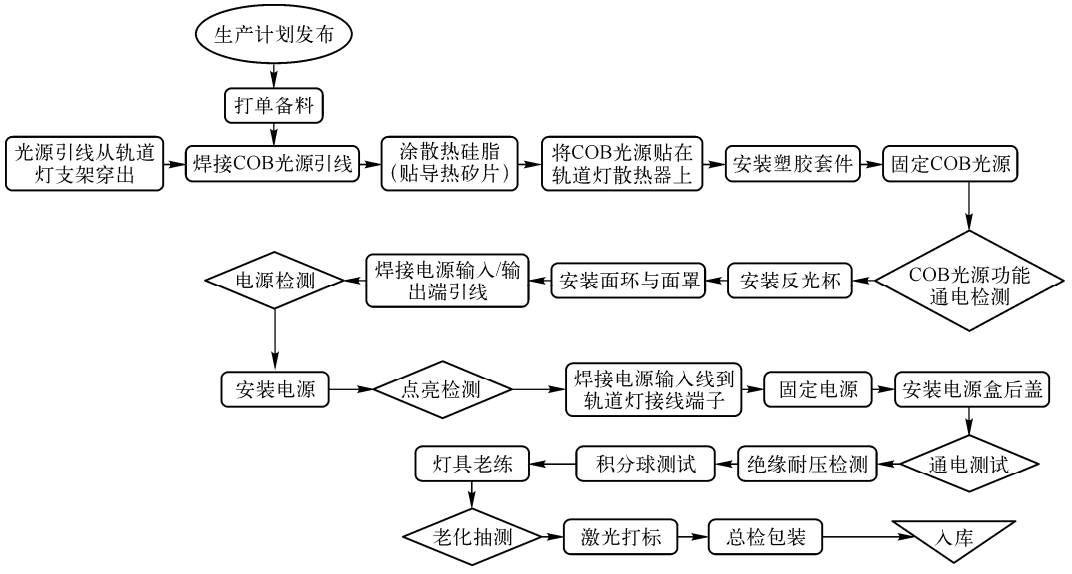


图 4-50　LED 轨道灯组装流程图



- ☺ 取拿 COB 光源时，只能用手接触部位为支架或基板两端，不能用手挤压胶体表面，不能使用尖锐物品（如镊子）刺碰胶体表面，不能用手挤压或刺碰白色围坝胶框。
- ☺ COB 光源正常组装时，需通过 COB 光源支架将 COB 光源固定。将导热硅胶垫光滑面朝下，螺丝孔位对准散热器相应螺丝孔位，贴在散热器表面上。
- ☺ COB 光源镶嵌在 COB 光源支架时，需确保 COB 光源与 COB 光源支架平齐，即 COB 光源基板不能突出 COB 光源支架及不能低于 COB 光源支架外平面。
- ☺ 反光杯、玻璃面盖必须清洁干净，不可有黑白点、毛屑、手指印等不良现象。安装前将反光杯用气枪清洁干净后，将反光杯固定柱对准 COB 支架相应孔位，摆放在 COB 支架上。
- ☺ 锁螺丝时注意力度，锁紧螺丝后 COB 支架不可有变形现象，以免损坏 COB 光源。
- ☺ 用气枪或无尘布把玻璃面盖（PC 面盖）清洁干净后，摆放在反光杯上。
- ☺ 银灰色导热膏导热系数≥3.0W/m · K，除了导热膏外，目前也有采用导热硅胶垫的。
- ☺ 打开测试电源开关，设定电源输出电压为 DC 30 ± 1V。测试笔的红色表线接到 COB 光源的正极焊盘（+）上，黑色表线接到 COB 光源的负极焊盘（−）上。点亮 COB 光源，COB 光源不能有死灯、暗灯、闪烁、色差等不良现象。
- ☺ COB LED 轨道灯不可有刮花、破损、脏污、变形、裂纹、掉漆、松动、旋转不良等不良现象。
- ☺ COB 光源焊接电子线，烙铁温度控制在 350 ± 20℃，时间控制在 3s 以内，不可随意调节。
- ☺ 打开耐压测试仪开关，将测试电压设定为 AC 4*U*+2000V，时间设定为 3s；当仪器通过时，表示 LED 轨道灯为良品。
- ☺ 直视点亮 LED 轨道灯时，必须佩戴墨镜，这样可以观察 LED 轨道灯是否有死组、死灯的现象。

4.5.3 LED 轨道灯的检验要求

LED 轨道灯（COB）的检验要求如表 4-8 所示。

表 4-8 LED 轨道灯（COB）的检验要求

序号	检 验 项 目	内 容 叙 述	检验方法或检验工具	判定标准或要求
1	散热器	➢ 散热器与外环表面无划痕。 ➢ 不得有刮花、变形，如有刮花，其长不得超过 3mm，宽不得超过 0.25mm，散热器表面需做抛光处理，用手摸不会划伤手。 ➢ 散热器与反光杯的连接处无缝隙，无松动。 ➢ 散热器本体散热片无变形、歪斜。 ➢ 散热片之间的螺丝孔区域无破损	目视	➢ 划痕长度小于 3mm，数量少于 3 个。 ➢ 黑点数目少于 2 个，直径小于 1mm。 ➢ 除黑点、划痕、脏污外，其他不良一律拒收。 ➢ 散热片变形拒收

续表

序号	检 验 项 目	内 容 叙 述	检验方法或检验工具	判定标准或要求
2	外环	➢ 不得有刮花、脏污现象，否则视为不合格	目视	➢ 划痕长度小于 1mm，数量少于 2 个。 ➢ 黑点数目少于 2 个，直径小于 1mm。 ➢ 脏污、异物无法清除者拒收
3	反光杯（导光柱）、玻璃面盖	➢ 反光杯（导光柱）无破损、异色、抛光不良。 ➢ 反光杯（导光柱）底部无明显变形、凹坑、划痕。 ➢ 反光杯（导光柱）无破损，表面无脏污。 ➢ 反光杯、玻璃面盖必须清洁干净，不可有黑白点、毛屑、手指印等不良现象	目视	➢ 破损一律拒收；抛光不良，在反光杯背面区内允收，其他拒收。 ➢ 底部凹坑数量少于 2 个，划痕长度小于 3mm
4	功率	➢ 测试功率符合设计要求及技术要求。 ➢ 实际消耗的功率与标称值相比应不大于 110%。 ➢ P_m>15W 时，最小功率因数值应大于 0.9。 ➢ 7W<P_m≤15W 时，最小功率因数值应大于 0.7。 ➢ P_m≤5W 时，最小功率因数值应大于 0.5	智能电量测试仪	➢ 功率不能超过设计功率的 ±10%。 ➢ 实测功率因数应不低于标称值 0.05
5	功能测试	➢ 点亮测试。 ➢ 不能出现明显的亮暗变化	变频电源	➢ 死灯、死组、灯不亮。 ➢ 低电流测试灯暗或者不良
6	外观检查	➢ 不可有刮花、脏污、破损、掉漆、电源晃动、转动部件转动不良等不良现象	目视	
7	安规测试	➢ 在电压为 500V 时，绝缘电阻≥50MΩ。 ➢ 泄漏电流交流应小于 0.5mA，直流应小于 1mA，或者按国家地区具体安规要求执行。 ➢ 按技术要求相应频率、电压、电流、测试时间测试无击穿现象，AC 3000V/5mA/60s	接地电阻测试仪、泄漏电流测试仪、耐压测试仪、绝缘测试仪	
8	电磁兼容	➢ 无线电骚扰特性应符合 GB 17743《电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法》的要求。 ➢ 输入谐波电流应符合 GB 17625.1《电磁兼容 限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流≤16A）》的规定。 ➢ 电磁兼容抗扰度应符合 GB/T 18595《一般照明用设备电磁兼容抗扰度要求》的要求		➢ 电源供应商提供的电源电磁兼容测试报告。 ➢ 委托专业检测机构出具测试报告
9	光生物安全	➢ 光生物危害应符合 GB/T 20145《灯和灯系统的光生物安全性》的要求		
10	光学测试	➢ LED 光通量、色温、显色指数、光效率符合订单及技术参数。 ➢ 初始光通量应不低于额定光通量的 90%，不高于额定光通量的 120%。 ➢ 光束角≤30° 时，实测光束角与宣称光束角的偏差应不超过 3°。 ➢ 光束角>30°时，实测光束角与宣称光束角的偏差应不超过宣称值的 10%	积分球、分布光度计	➢ 光束角不应大于 60°。 ➢ 初始显色指数应不低于 80。 ➢ 光效要求≥60lm/W。 ➢ 至少点燃 30min 后，对灯的光电和颜色参数进行测量。 ➢ 配光不均匀，出现严重的黑斑暗区。 ➢ 光晕边界多重阴影，光斑死板，杂影、虚影明显。 ➢ 色容差≤5

续表

序号	检 验 项 目	内 容 叙 述	检验方法或检验工具	判定标准或要求
11	震动测试	➢ 加速度 2*G*，*X*、*Y*、*Z* 各震动 10min，角度 10°，不允许有暗灯、死灯出现，不允许螺丝松脱、破裂	震动测试仪	➢ 出现暗灯、死灯。 ➢ 螺丝松脱、破裂
12	开关次数	➢ 以 15s 点灯、15s 关灯次数不低于 40000 次开发。 ➢ 以 15s 点灯、15s 关灯次数不低于 500 次生产	开关寿命测试仪	➢ 不能出现死灯或电源损坏
13	高低温测试	➢ 将轨道灯置于高温箱内，供电工作，温度升高至 45℃，持续 8h。 ➢ 将轨道灯放入低温箱中，供电工作，温度降低至−25℃，持续 8h	高低温箱	➢ 测试其电性能，应与实验前保持一致。 ➢ 测试其光学性能，应与实验前保持一致
14	包装	➢ 装箱单与实物符合。 ➢ 产品合格证。 ➢ 产品说明书。 ➢ 包装要求、材质、层数符合包装图纸。 ➢ 外箱不允许有破损、变形、潮湿。 ➢ 内盒不可有变形、受潮、破损、脏污、印字模糊不清等不良现象。 ➢ 外箱标识清晰，书写工整，外箱内容包括但不局限于：规格、型号、品名，日期，数量、质量，环保标识，小心轻放，易碎、防水、防压标志	目视	➢ 装箱要求与客户要求一致。 ➢ 按公司包装要求执行。 ➢ 在内包装盒上标明额定电压、工作电压范围、额定功率、额定频率、产品型号、额定光通量、生产日期。 ➢ 如果有特殊要求还要在内包装盒上标明显色指数、光效、中心光强、功率因数等信息。 ➢ 能效标签信息

4.6 LED 格栅灯的设计与组装

4.6.1 LED 格栅灯简介

LED 格栅灯又称斗胆灯，是一种照明灯具，适合安装在有吊顶的办公场所。传统格栅射灯光源一般是卤素灯。LED 格栅灯的光源是大功率的 LED，说简单一点就是将多个 LED 天花灯组装在一起。LED 格栅灯的外形如图 4-51 所示。LED 格栅灯适合多种应用场合。LED 格栅灯在设计时应考虑散热是否充分，面盖温度是否较低，安全、保护性是否符合相关的标准，节能效果是否显著。



图 4-51 LED 格栅灯的外形



LED 格栅灯 COB 光源要用偏红光的高显色 COB 光源。

4.6.2 LED 格栅灯的组装

LED 格栅灯的组装流程图如图 4-52 所示。

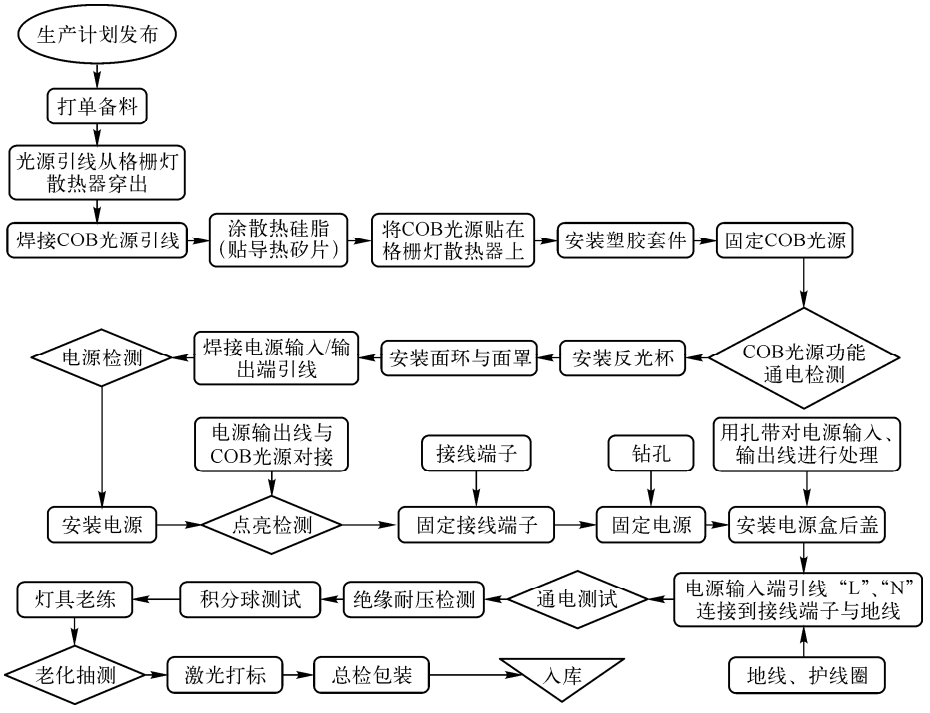


图 4-52　LED 格栅灯的组装流程图

4.6.3 LED 格栅灯的检验要求

LED 格栅灯的检验要求如表 4-9 所示。

表 4-9　LED 格栅灯的检验要求

序号	检 验 项 目	内 容 叙 述	检验方法或检验工具	判定标准或要求
1	散热器	➢ 散热器与外环表面无划痕。 ➢ 不得有刮花、变形，如有刮花，其长不得超过 3mm，宽不得超过 0.25mm，散热器表面需做抛光处理，用手摸不会划伤手。 ➢ 散热器与反光杯的连接处无缝隙、无松动。 ➢ 散热器本体散热片无变形、歪斜。 ➢ 散热片之间的螺丝孔区域无破损	目视	➢ 划痕长度小于 3mm，数量少于 3 个。 ➢ 黑点数目少于 2 个，直径小于 1mm。 ➢ 除黑点、划痕、脏污外，其他不良一律拒收。 ➢ 散热片变形拒收

续表

序号	检 验 项 目	内 容 叙 述	检验方法或检验工具	判定标准或要求
2	面环或灯体	➢ 不得有刮花、脏污现象，否则视为不合格。 ➢ 不得有变形、掉漆的现象。 ➢ 灯体的烤漆颜色要一致	目视	➢ 划痕长度小于 1mm，数量少于 2 个。 ➢ 黑点数目少于 2 个，直径小于 1mm。 ➢ 脏污、异物无法清除者拒收
3	反光杯	➢ 反光杯无破损、异色、抛光不良。 ➢ 反光杯底部无明显变形、凹坑、划痕。 ➢ 反光杯无破损，表面无脏污	目视	➢ 破损一律拒收；抛光不良，在反光杯背面区内允收，其他拒收。 ➢ 底部凹坑数量少于 2 个，划痕长度小于 3mm
4	功率	➢ 测试功率符合设计要求及技术要求。 ➢ 实际消耗的功率与标称值相比应不大于 110%。 ➢ P_m>15W 时，最小功率因数值应大于 0.9。 ➢ 7W<P_m≤15W 时，最小功率因数值应大于 0.7。 ➢ P_m≤5W 时，最小功率因数值应大于 0.5	智能电量测试仪	➢ 功率不能超过设计功率的±10%。 ➢ 实测功率因数应不低于标称值 0.05
5	功能测试	➢ 点亮测试。 ➢ 不能出现明显的亮暗变化。 ➢ 灯可以 360° 调节角度	变频电源	➢ COB 光源出现死灯、死组，COB 光源不亮。 ➢ 低电流测试灯暗或者不良。 ➢ 调节角度小或调节不了角度
6	安规测试	➢ 在电压为 500V 时，绝缘电阻≥50MΩ。 ➢ 泄漏电流交流应小于 0.5mA，直流应小于 1mA，或者按国家地区具体安规要求执行。 ➢ 按技术要求相应频率、电压、电流、测试时间测试无击穿现象，AC 3000V/10mA/60s	接地电阻测试仪、泄漏电流测试仪、耐压测试仪、绝缘测试仪	➢ LED 格栅灯有接地，耐压测试电压为 AC 1500V/10mA/60s
7	电磁兼容	➢ 无线电骚扰特性应符合 GB 17743《电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法》的要求。 ➢ 输入谐波电流应符合 GB 17625.1《电磁兼容 限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流≤16A）》的规定。 ➢ 电磁兼容抗扰度应符合 GB/T 18595《一般照明用设备电磁兼容抗扰度要求》的要求		➢ 电源供应商提供的电源电磁兼容测试报告。 ➢ 委托专业检测机构出具测试报告。 ➢ 灯具电磁兼容要与电源配合一起测试
8	光生物安全	➢ 光生物危害应符合 GB/T 20145《灯和灯系统的光生物安全性》的要求		➢ 光生物危害为无危险类
9	光学测试	➢ LED 光通量、色温、显色指数、光效率符合订单及技术参数。 ➢ 初始光通量应不低于额定光通量的 90%，不高于额定光通量的 120%。 ➢ 光束角≤30° 时，实测光束角与宣称光束角的偏差应不超过 3°。 ➢ 光束角>30° 时，实测光束角与宣称光束角的偏差应不超过宣称值的 10%	积分球、分布光度计	➢ 光束角不应大于 60°。 ➢ 初始显色指数应不低于 80。 ➢ 光效要求≥60lm/W。 ➢ 至少点燃 30min 后，对灯的光电和颜色参数进行测量。 ➢ 配光不均匀，出现严重的黑斑暗区。 ➢ 光晕边界多重阴影，光斑死板，杂影、虚影明显。 ➢ 色容差≤5
10	震动测试	➢ 加速度 2G，X、Y、Z 各震动 10min，角度 10°，不允许有暗灯、死灯出现，不允许螺丝松脱、破裂	震动测试仪	➢ 出现暗灯、死灯。 ➢ 螺丝松脱、破裂

续表

序号	检 验 项 目	内 容 叙 述	检验方法或检验工具	判定标准或要求
11	开关次数	➢ 以 15s 点灯、15s 关灯次数不低于 40000 次开发。 ➢ 以 15s 点灯、15s 关灯次数不低于 500 次生产	开关寿命测试仪	➢ 不能出现死灯或电源损坏
12	高低温测试	➢ 将 LED 格栅灯置于高温箱内，供电工作，温度升高至 45℃，持续 8h。 ➢ 将 LED 格栅灯放入低温箱中，供电工作，温度降低至-25℃，持续 8h	高低温箱	➢ 测试其电性能，应与实验前保持一致。 ➢ 测试其光学性能，应与实验前保持一致
13	包装	➢ 装箱单与实物符合。 ➢ 产品合格证。 ➢ 产品说明书。 ➢ 包装要求、材质、层数符合包装图纸。 ➢ 外箱不允许有破损、变形、潮湿。 ➢ 外箱标识清晰，书写工整，外箱内容包括但不局限于：规格、型号、品名，日期，数量、质量，环保标识，小心轻放，易碎、防水、防压标志	目视	➢ 装箱要求与客户要求一致。 ➢ 按公司包装要求执行。 ➢ 在内包装盒上标明额定电压、工作电压范围、额定功率、额定频率、产品型号、额定光通量、生产日期。 ➢ 如果有特殊要求，还要在内包装盒上标明显色指数、光效、中心光强、功率因数等信息。 ➢ 能效标签信息



使用 LED 格栅灯的可调节装置时，内部线不能受到拉力作用。

4.7 LED 天花灯的设计与组装

4.7.1 LED 天花灯简介

LED 天花灯是采用导热性极高的铝合金及相关结构技术设计生产的一种新型天花灯。LED 天花灯主要在商业照明领域使用，现在已向家居照明领域渗透。LED 天花灯在商业照明中使用较广的规格有 1 颗、3 颗、5 颗、7 颗、9 颗、12 颗、15 颗，其灯珠的功率是 1W/颗。由于安装或使用的地方不一样，LED 天花灯功率大小主要取决于使用者要求的亮度、照射距离、安装处的宽度等。LED 天花灯不同于 LED 射灯，主要是以散射光源为主，照射面积广，光线大多柔和，光斑均匀。LED 天花灯的外形如图 4-53 所示。



图 4-53　LED 天花灯的外形

COB LED 洗墙射灯主要应用于酒店照明，是替代传统金卤灯的理想光源。单颗 COB 光源可完美解决点光源重影问题。材质有铝合金、反光杯、玻璃等，可以设计为调光或不调光。功率为 15W、20W、30W、40W 不等，角度有 24°、38°、60°。

LED 天花灯散热器由阳极化铝合金 AA 6063 制成，是一个包括玻璃片、螺旋散热器、螺旋面环及反光杯在内的套件的组成部分。在选择反光杯时，要考虑反光杯的反光效率及光束角。对于 LED 天花灯给定的相关色温（CCT），色容差要控制在两个或三个麦克亚当椭圆内。在设计过程中，要根据照明设计要求来确认光学系统、热系统和电气系统。一般用热电偶方式来测试表面 LED 天花灯散热器温度，确认 LED 天花灯散热器具有充足的散热性能。LED 天花灯对驱动电源没有尺寸限制，一般采用通用外置恒流驱动电源即可。



- ☺ 配光方式有光面透镜（强光）、网纹透镜（半强光）、珠面透镜（柔光）3 种。
- ☺ LED 天花灯电源注意区分输入端和输出端，输入端有一个输入线压线盖，带自锁卡紧，用一字螺丝刀均匀用力向上慢慢翘开，露出输入端子，接交流火线 L 和零线 N。
- ☺ LED 天花灯电源输出端子按产品标识接线，注意正负极。
- ☺ LED 象鼻灯是一款融合了 LED 轨道灯和天花灯两者优势，嵌入到天花板内光线下射式的照明灯具，适用于服饰卖场、家居卖场、珠宝首饰卖场、专业橱窗、柜台、各类展厅等需重点照明的场所。

4.7.2 LED 天花灯的组装

LED 天花灯的组装流程图如图 4-54 所示。

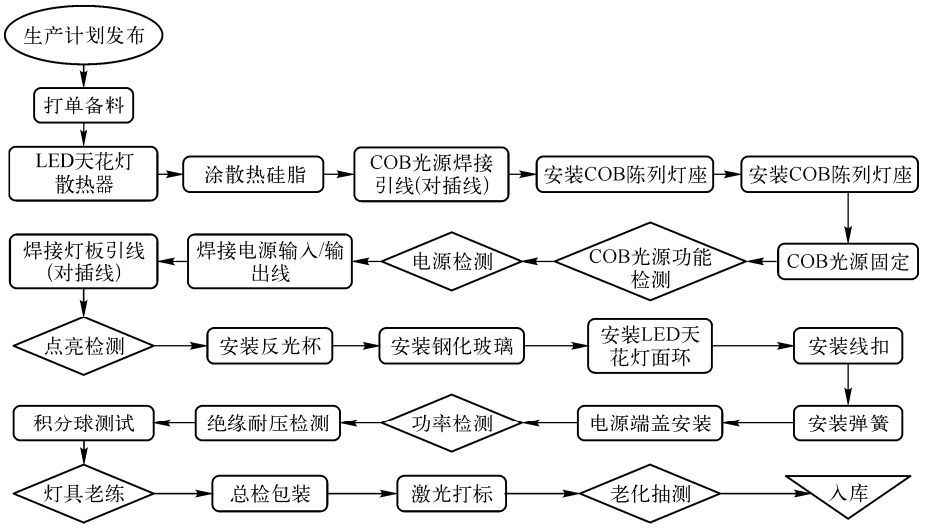


图 4-54　LED 天花灯的组装流程图



- ☺ 组装 LED 天花灯前，要对其安装组件尺寸进行验证，以确保正确的组装匹配。
- ☺ 用适量散热硅脂将 COB 光源安装到 LED 天花灯散热器上，并将 LED 驱动电源输出端引线穿过 LED 天花灯散热器的穿线孔，用焊台将 LED 驱动电源输出端引线焊接到 COB 光源上。
- ☺ 将 COB 光源支架对准 COB 光源并放置在 COB 光源上，且 COB 光源位于 LED 天花灯散热器的中心，用螺钉将 COB 光源支架固定到 LED 天花灯散热器上。
- ☺ 用压线支架与螺钉将 LED 驱动电源的输出端引线固定到 LED 天花灯散热器上。
- ☺ 将反光杯放置在 COB 光源支架上，使其开孔处与 COB 光源支架对准。
- ☺ 将圆形玻璃片放置在反光杯上，用螺旋面环将圆形玻璃片及反光杯固定到 LED 天花灯散热器上，以便将圆形玻璃片和反光杯固定到 LED 天花灯散热器片上。
- ☺ 用螺钉将 LED 天花灯散热器固定到 LED 天花灯总成上。
- ☺ 将安装弹簧连接到 LED 天花灯总成上。
- ☺ LED 天花灯组装完成后，要进行相关的测试。

4.7.3 LED 天花灯的检验要求

LED 天花灯的检验要求如表 4-10 所示。

表 4-10 LED 天花灯的检验要求

序号	检验名称	检 验 项 目	检测条件或标准	备　注
1	标志	方法位置	➢ 标志方法、位置符合公司产品设计的要求或国家标准	
		耐久性	➢ 用醮有水的湿布轻轻擦拭 15s，等其完全干后再用醮有汽油的湿布擦拭 15s，试验完成后标志依然清晰	
2	工作环境		➢ 室内温度：−25～+45℃。 ➢ 相对湿度：不大于 90%RH（25±5℃）	正常工作和燃点
3	外形尺寸		➢ 灯具外形尺寸与嵌入式尺寸的配合。 ➢ 符合相关国家标准 GB 7000.202—2008《灯具 第 2-2 部分：特殊要求 嵌入式灯具》及 GB/T 30413—2013《嵌入式 LED 灯具性能要求》的规定	
4	外观		➢ 灯具表面应平整、光洁，无划伤等缺陷。 ➢ 灯具内外应无尖角和毛刺。 ➢ 灯具的所有零件均应定位安装、牢固可靠，没有松动现象。 ➢ 转动件应能灵活转动、接触良好、无轴向窜动。 ➢ 焊接部位应平整、牢固，无虚焊、假焊等现象。 ➢ 散热器底座不能有铝屑、变形。 ➢ 切面不能有披锋或不平整。 ➢ 透镜内不能有异物或松动。 ➢ 透镜无发黄、杂质、胶迹。 ➢ 前盖及透镜盖表面异色点符合设计要求。 ➢ 灯具表面烤漆气泡或麻点符合设计要求。 ➢ 前盖及散热器无破裂、变形	

续表

序号	检验名称	检 验 项 目	检测条件或标准	备　　注
5	安全		➢ 一般的性能、安全及相应的试验符合 GB 7000.1—2015《灯具第 1 部分：一般要求与试验》的规定。 ➢ 线扣可承受 35 磅吊重 1min，位移不大于 1.6mm。 ➢ 恒流源输出线可承受 60N 25 次拉力测试，位移不大于 2mm	
6	控制装置		➢ 控制装置安全及性能要求应符合 GB 19510.14—2009《灯的控制装置 第 14 部分：LED 模块用直流或交流电子控制装置的特殊要求》、GB/T 24825—2009《LED 模块用直流或交流电子控制装置性能要求》的规定。 ➢ LED 模块安全及性能要求应符合 GB 24819—2009《普通照明用 LED 模块 安全要求》、GB/T 24823—2009《普通照明用 LED 模块 性能要求》的规定。 ➢ 光生物安全要求应符合 IEC 6247《LED 照明设备的光辐射安全要求》及 GB/T 20145—2006《灯和灯系统的光生物安全性》的规定。 ➢ 电源输入线截面积不得低于 0.5mm^2	
7	电磁兼容		➢ 电磁兼容要求应符合 GB 17743—2016 的规定。 ➢ 输入电流谐波应符合 GB 17625.1—2012 的规定	
8	功率		➢ 实际消耗的功率与额定功率之差不应大于 10%。 ➢ 实测功率<5W，PF≤0.5。 ➢ 5W<实测功率<15W，PF≥0.7。 ➢ 实测功率>15W，PF≥0.9	额定电源电压
9	光参数		➢ 显色指数：Ra≥80，R9>0。 ➢ 初始光效：≥90lm/W。 ➢ 初始光通量：不低于额定值的 90%。 ➢ 色温：冷白 RL（4000K<色温≤6500K），其光效：≥70lm/W。 ➢ 暖白 RN（色温≤4000K），其光效：≥60lm/W。 ➢ 2000h 光通量维持率：≥95%。 ➢ 5000h 光通量维持率：≥90%	
10	LED 结温		➢ 对称中心位置的 LED 结温不超过 60℃	额定工作条件
11	高压测试 绝缘电阻 泄漏电流		➢ 3000V 5mA 60s（无击穿、报警，没有电弧产生）。 ➢ Ⅱ类灯具带电部件和灯具的金属部件之间施加 4U+2000V。 ➢ 绝缘电阻 DC 500V 为 4 MΩ。 ➢ 泄漏电流≤1mA	通过
12	产品标志 （标牌）		➢ 灯具在明显位置固定产品标牌（符合 GB/T 13306—2011《标牌》的规定）。 ➢ 灯具的标志应清晰，无缺画、断画、少字等现象。 ➢ 制造厂厂名、厂址。 ➢ 产品名称及型号。 ➢ 产品编号及生产日期。 ➢ 主要技术参数。 ➢ 产品标准号、相关认证标志	
13	包装外箱 标志		➢ 产品名称、型号及数量。 ➢ 出厂年月。 ➢ 外形尺寸（mm×mm×mm）：长×宽×高。 ➢ 毛重：kg。 ➢ “防湿”、“禁止翻滚”、“防压”、“防摔”等字样或标志（图形应符合 GB/T 191—2008《包装储运图示标志》的规定）。 ➢ 制造厂名和地址。 ➢ 安全标志准用证号	

续表

序号	检验名称	检 验 项 目	检测条件或标准	备　注
14	技术文件		➢ 产品合格证。 ➢ 产品使用说明书（说明书符合 GB/T 9969—2008《工业产品使用说明书 总则》的规定）	
15	储存		➢ 储存环境温度为-25～+40℃。 ➢ 干燥、清洁及通风良好、无腐蚀性介质的仓库内	



☺ LED 天花灯电源电气连接后，出现不亮。切断 AC 输入端，并检查 DC 输出端有无接触不良、正负极是否接反，最后检查 LED 灯板或 COB 光源是否有焊反。

☺ LED 天花灯点亮，出现 LED 灯闪烁。切断 AC 输入端，检查 DC 输出端有无过载、超载、轻载的现象；是否有电源设计参数与实际使用参数不符的情况。

☺ LED 调光天花灯的调光方式有可控硅、0～10V、1～10V、PWM、DALI 等，兼容普通手动调光器与调光系统，如路创、邦奇、奇胜、ABB、快思聪等。

☺ LED COB 调光天花灯的开孔尺寸有 55mm、70mm、90mm、115mm、140mm，面环颜色有烤漆白、砂银、高光、哑光。

4.8 LED 照明产品老化

我们在应用 LED 时经常会出现这样的问题，即 LED 刚开始的时候是正常工作的，但点亮一段时间以后就会出现暗光、闪动、间断亮、死灯等现象，给产品带来严重的损害。引起这些现象的原因大致如下。

（1）产品生产时，焊接过程有问题。例如，焊接温度过高、焊接时间过长、没有做好防静电工作等，这些问题 95%以上是封装过程造成的。

（2）LED 本身质量或生产过程有问题。预防方法有：

☺ 做好焊接制程的控制。

☺ 对产品进行老化测试。

☺ 生产过程做好防静电措施。

☺ 检测灯珠及把灯珠插到 PCB 上的这道工序必须十分谨慎，必须做足三重防护：第一重，操作人员必须手戴真正有效的防静电环；第二重，工作桌面必须铺盖防静电胶皮；第三重，操作人员的前面一定要装配一台离子风机（除静电风机），以消除静电。

☺ LED 灯板制作好在通电检测之前，务必确定灯板的电路没有连锡、多锡、短路的现象。

☺ 使用环境温度为-30～+60℃，LED 白灯引脚负极的温度低于 60℃。

☺ 瞬间驱动电压及反向电压不能超过 5V。

☺ 建议小功率 LED 的驱动电流为 10～16mA，最好不要超过 20mA。

LED 老化测试在产品质量控制中是一个非常重要的环节，但在很多时候往往被忽视。LED 老化测试是根据产品的故障率曲线，即浴盆曲线的特征而采取对策，以此来提高产品的可靠性，但这种方法并不是必需的，毕竟老化测试是以牺牲单颗 LED 产品的寿命为代价的。

LED 老化方式包括恒流老化及恒压老化。恒流源是指电流在任何时间都恒定不变。交流或脉动电流源可以设计成有效值恒定不变，但无法称作“恒流源”。恒流老化是最符合 LED 电流工作特征的、最科学的 LED 老化方式；过电流冲击老化也是厂家最新采用的一种老化手段，通过频率可调、电流可调的恒流源进行此类老化，以期在短时间内判断 LED 的质量预期寿命，并且可查出很多常规老化无法查出的隐患 LED。

现在大部分生产商都采用老化测试台办法，对所有产品进行 100%老化，一般都要老化 8h。如果是新产品，要进行三个月以上的各种老化和破坏性实验。

（3）LED 照明灯具老化规范。

☺ LED 照明灯具的老化电压设定：低压电压一般控制在 AC 100 ~ 120V 之间，常压控制在 AC 180 ~ 230V 之间，高压控制在 AC 240 ~ 277 V 之间。

☺ LED 照明灯具的冲击时间设定：亮灯时间一般在 5s 以内为最佳，熄灯时间一般控制在 2s 之内。

☺ LED 照明灯具的脉冲频率设定：根据不同品质的 LED 照明灯具一般控制在 0.2s/次。

☺ LED 照明灯具老化变化电压的切换时间设定：高、中、低三挡电压一般设定切换时间为不少于 10s。

☺ LED 照明灯具老化时间设定：根据实际使用情况，建议 LED 照明灯具老化时间控制在 8 ~ 12h 为最佳。

4.9 LED 照明灯具市场分析与应用

低碳经济深入人心，低碳发展模式也已上升为国策的高度，可持续的低碳、绿色经济已经成为世界的趋势，无疑也为 LED 照明等节能环保产业带来空前的机遇。而 LED 照明中占市场份额最大的通用照明更是一块大蛋糕。LED 灯泡在室内照明的节能环保中发挥着极大的作用。

LED 室内灯具主要包括 LED 射灯、LED 球泡灯、LED 日光灯、LED 吸顶灯、LED 面板灯等，颜色为正白、暖白或冷白，用于替换传统白炽灯及节能灯。LED 射灯发出的光线是方向性的，主要类型有 MR16、GU10 和 PAR 系列。LED 球泡灯发出的光线为发散性的，主要灯头类型为 E27、E26。

按照 LED 功率来分，LED 球泡灯可分为中功率（0.5W LED）和 COB 光源（5W、7W、9W LED）。同时，市场上也有 50W 的 LED 射灯，已经过市场检验。其中，中功率的 LED 球泡灯是目前最流行的方案，已经大规模采用，目前也有采用中小功率 LED 的 LED 球泡灯，其电源采用阻容降压，这是 LED 球泡灯寿命不长的原因。而 LED 射灯、球泡灯现在已大规模使用和推广，电源采用恒流源供电，总体来说要比小功率的 LED 灯泡稳定许多。随着 LED 价格下降，LED 发光效率提高，LED 球泡灯将会成为

市场主流。

LED 日光灯管、LED 吸顶灯、LED 筒灯是目前用量最多的灯具，是传统灯具的替代品，体现在节能和环保两个方面。其尺寸安装方式和传统灯具相同。美国、加拿大以及欧洲其他国家传统荧光灯用量比较多，目前将一步一步地替换。LED T8 荧光灯可以直接替换使用电感镇流器的传统 T8 荧光灯，但是替换传统 T8 荧光灯电子镇流器系统，要重新进行布线的工作。

在欧洲其他国家标准规格卤素反射灯的用量是非常大的，用 MR16 LED 射灯可以直接替换。MR16 LED 射灯是 LED 照明发展的重点，欧盟将卤素灯淘汰时间延迟到 2018 年 9 月 1 日。2018 年后，整个欧洲将有多达 2 亿个卤素灯的替代，MR16 LED 射灯将产生非常好的经济效应。

LED 路灯已经成为主流，可以直接替换高压钠灯，对城市照明节能有重要的意义。欧美国家的仓库、工厂大部分都是以 54W 灯管为基础的天棚灯，现在已经被 LED 天棚灯或 UFO LED 工矿灯替换。

目前智能照明系统尚未成熟，相关标准也没有出台，其市场前景非常美好。智能照明系统需要与 LED 光源（TOP LED、LED、COB LED）、LED 驱动、传感器、智能控制系统、IT 及通信技术等技术结合，因此智能照明系统已经成为一个大系统，需要多个不同领域的企业同时进军。

1．LED 照明灯具在室内照明中的应用

室内基础照明只需达到 GB 50034—2013《建筑照明设计标准》规定的亮度，人眼感受到舒畅即可，不能发生让人视觉不舒畅的眩光，可以选择带 PC 罩或磨砂罩的 LED 照明灯具。对于室内照明中的专项照明，如服装、黄金首饰、珠宝、铂金首饰等产品，可以用 LED 射灯来进行照明。选择 LED 光源时，要根据 LED 光源的色温、显色指数、发光角度、照度、功率来定。

室内照明不同于夜景照明，更强调照明的功能；相对道路照明来说，室内照明则是一个更为广阔的空间，不同的使用场所、不同的功能、不同的大小、不同的装饰美观要求，决定了室内照明灯具品种繁多、配光类型各异。对于室内照明，建议考虑以下原则和方向。

（1）应符合 GB 50034—2013《建筑照明设计标准》的规定，包括照度、均匀度、眩光、显色指数等要求及相宜的色温，以达到良好的视觉条件和 LPD 限值规定。

（2）突出节能。首先取代低效的白炽灯，更能发挥优势；其次取代卤素灯；再次逐步代替紧凑型荧光灯。特别注意，并非 LED 都节能，应在达到相同照度水平、接近的照明质量条件下进行比较；从这点分析，目前不应以 LED 去代替高效的三基色直管荧光灯。

（3）发挥 LED 彩色光的优势，在室内用于高装饰要求，或作为 LED 景观、LED 标志灯等。

（4）发挥 LED 快速启动、方便调光的优势，优先用在要求声、光自控和需要调光或频繁开、关灯等场所。

（5）利用 LED 定向发光的特点，应用于需要定向照明的部位，如 LED 射灯、LED 筒

灯、LED 洗墙射灯等。

2．LED 照明灯具适宜应用的场所

（1）住宅或类似场所的楼梯间、走廊中，最适宜用 LED 照明灯具代替，节能效果好。

（2）疏散照明灯、疏散标志灯，以及其他标志灯，还有部分备用（应急）照明灯（当正常照明采用 HID 灯时），适宜用 LED 标志灯。

（3）可用 LED 代替 PAR 38（采用反射型白炽灯）等 5 类灯，还可代替 MR16、MR25（采用卤素灯）等射灯。但这些都要求 LED 射灯有更高的显色指数（Ra），具有暖色表（<3300K）。

（4）LED 可应用于商场作为重点照明的 LED 射灯、展馆类建筑的 LED 射灯，以及公共建筑的 LED 筒灯、LED 射灯等。

（5）宾馆是应用 LED 灯的适宜场所，可用来取代白炽灯、卤素灯、台灯，而作为需调光的床头灯、床头顶上的阅读灯、夜灯、衣柜灯、吧台灯、开门灯、进门过道灯，以及卫生间洗浴灯都可以由 LED 台灯、LED 筒灯、LED 射灯、LED 衣柜灯、LED 面板灯、LED 镜前灯等代替。

（6）可作为局部照明灯或采用安全特低电压（SELV）的检修灯，如 LED 电筒、LED 头灯。

（7）应用于视觉条件要求不太高的一般建筑的辅助场所，如走廊、卫生间、一般用途的库房、风机、水泵房等，可以用 LED 吸顶灯、LED 日光灯。

3．办公场所照明简介

办公场所包括办公室、写字楼、商务中心等。

办公场所照明要求如下。

（1）光源色温及显色指数：在办公场所中一般选择色温不超过 4000K，显色指数 Ra≥80，R9>0，色容差≤5SDCM。

（2）照明水平：不同环境、不同场所，对灯光的要求各有不同。办公场所的照度应满足使用要求，一般为 500～1000lx，具体可以参照 GB 50034—2013《建筑照明设计标准》执行。

（3）照明均匀度：合理布置灯具，使照度均匀，使办公室最大、最小照度与平均照度之差小于平均照度的 1/3。

（4）舒适度和眩光控制：若视野内有过高亮度或过大亮度比时，就会使人们感到有刺眼的眩光。防止眩光的措施主要是限制光源亮度，合理布置光源。例如，使光源在视线 45° 范围以上，形成遮光角或用不透明材料遮挡光源。

（5）安全性：主要考虑灯具结构的安全性、电器的安全性，以及灯具是否符合国家标准，是否通过 3C 认证（国家强制认证）或节能认证等。

（6）节能和环保：选用高光效光源，高效率、长寿命、配光合理的灯具，高性能、长寿命的附件等。



☺ 型式试验是为了验证产品能否满足技术规范的全部要求所进行的试验，通过型式试验，产品才能正式投入生产。

☺ 例行试验一般是指在国家标准或行业标准的规定下进行的出厂试验、现场进行的交接试验以及运行中定期进行的试验。

☺ 任何国家的 LED 照明灯具要进入欧盟或欧洲自由贸易区都必须进行 CE 认证，在 LED 照明灯具上加贴 CE 标志。

4.10 LED 应用交流电驱动技术说明

直流驱动 LED 光源的系统应用方案有变压器加整流或开关电源加恒流源，也有恒流源或恒压恒流源。LED 照明灯具中必须有一定的空间来安置电源模块，但是对于标准螺口（E27）的灯具来说空间十分有限，很难安置。无论经由变压器加整流还是开关电源降压，系统都会有一定量的损耗。直流 LED 灯具在交、直流电之间转换时有 15%～30%的电力被损耗，系统效率很难做到 90%以上。如果能用交流电（AC）直接驱动 LED 光源发光，则系统应用方案将大大简化，系统效率可以很轻松地达到 90%以上。



日常照明用交流 220V，而 LED 光源需直流供电才能工作。一般情况下使用降压的技术来获得较低的电压，将交流电（AC）变换成直流电（DC），再变换成直流恒流源。

LED 光源应用的基本技术要素是必须满足其 V_F（正向电压）和 I_F（正向电流）需求。V_F 是为 LED 光源建立一个正常的工作状态，I_F 则促使 LED 光源发光，LED 亮度与电流大小成正比。顺应照明 LED 驱动 IC 技术的发展，LED 驱动 IC 的输入电压（V_{in}）范围将更宽广（DC 5～45V），输出恒流精度更高（1%）。鉴于越来越多的 LED 灯具选用多颗大功率 LED 串联应用技术，新一代 LED 驱动 IC 输出耐压提高到 DC 60～100V，这就需要用高压工艺来生产 LED 驱动 IC 的晶圆片。LED 驱动 IC 输出耐压的提高为其在汽车电子、汽车灯具、高亮度照明等高电压要求的应用打开了新的市场。

目前，广大企业常用交流供电 LED 的方式主要有三种，即阻容降压供电，热敏电阻（LED 恒流补偿热敏电阻）、恒流二极管或高压 IC 线性恒流组成的恒流供电，恒流源供电。三种供电方式各有优缺点，读者可以根据相关的知识自己总结。

目前有 LED 高压线性恒流 IC 组成的交流驱动 LED 模组，无须高频变压器，无须电解电容。直接用市电驱动 LED 模组，可大大降低成本。高压线性恒流驱动 IC 方案目前已经在 LED 照明灯具中使用，其特点是高 PF 和低 THD。市面上常见的 AC 模组如图 4-55 所示，采用外置开关 MOS 控制方案，将 MOS 管不断开关所产生的热能均匀散热。

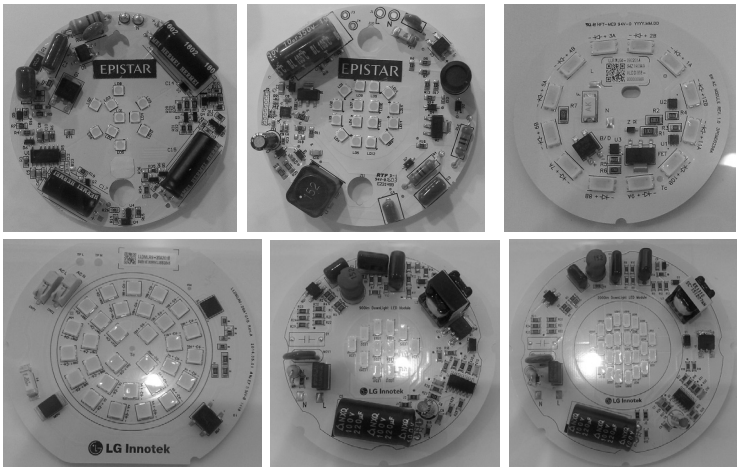


图 4-55　市面上常见的 AC 模组



- ☺ 线性恒流驱动 IC 由恒流芯片、LED 及电子元器件（电阻、电容、电感、二极管、三极管）组成，恒流 IC 起到驱动作用，在输入电压变化的情况下，输入电流保持不变。
- ☺ 高压线性恒流驱动 IC 方案可兼容不同种类 TRIAC 调光。
- ☺ 线性 LED 驱动的主要应用是 LED 球泡灯、LED 灯丝灯、LED 投光灯、工矿灯、路灯，可以通过增加浪涌电阻和压敏电阻满足浪涌 2.5kV。

4.11　常用室内照明灯具简介

1．LED 蜡烛灯

LED 蜡烛灯因其外形与蜡烛火焰外形相似而得名，光线为黄色柔和光，具蜡烛火焰感，且没有危险性，可安心使用。目前传统蜡烛灯都更换为 LED 蜡烛灯。LED 蜡烛灯采用大功率高亮光源，色温有 2600～4500K 可供选择，底座采用铝合金，表面做氧化处理，内部特殊的通气结构设计具有产品重量轻、散热好、外形美观高档等优点，灯罩为透明或乳白玻璃或用 PC 材料制造而成，具有散热好、光衰小、高效省电的特点。LED 蜡烛灯的外形如图 4-56 所示。

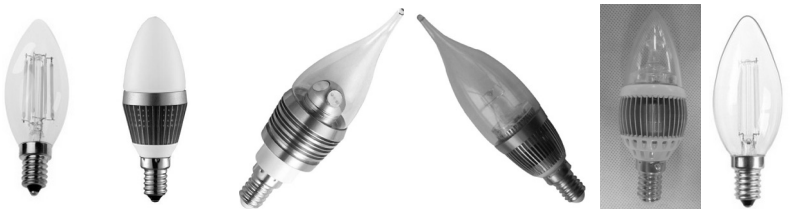


图 4-56　LED 蜡烛灯的外形



灯头采用标准的 E14、E27（E26）、GU10 等多种灯头，安装更换方便。

2．LED 面板灯

LED 面板灯材料环保、功耗小，发光效率、照明亮度等方面均优于格栅灯，真正做到白天赏灯，晚上照明。它正逐步取代以 T8 日光灯为光源的格栅灯盘。LED 面板灯的寿命是荧光灯的 10 倍。市面上常见的 LED 面板灯如图 4-57 所示。采用 AL6063 铝挤型材，并做氧化处理，使外框表面更加美观；无暗区、亮边现象及高辉度，扩散效果均匀，雾度高。

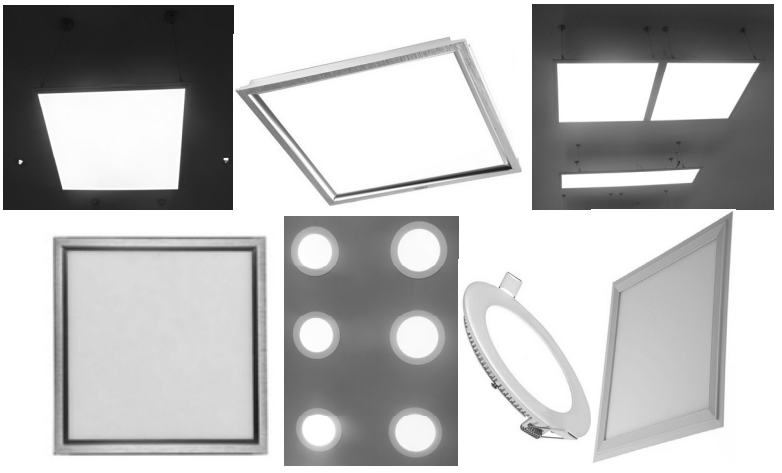


图 4-57　市面上常见的 LED 面板灯



- ☺ LED 面板灯导光板的好坏受到导光板基材、网点设计合理与否、油墨品质和反射膜等因素的影响。
- ☺ 导光板两面需附保护膜防护，且撕起后导光板上不能残留胶印、脏污、灰尘，必须保证产品表面洁净。
- ☺ 导光板的网点形状和排列与承认样品一致，导光板、扩散板、反光纸的尺寸必须符合承认书。
- ☺ 反光膜不能破损、有折痕，与导光板之间不能有间隙，扩散板两面的纹路与承认样品必须一致。

LED 照明设计与应用（第3版）

第5章

室内照明用 LED 灯具的设计与组装

5.1 LED 日光灯简介

1．荧光灯规格

常用的荧光灯规格有 T5、T8 灯管，企业用的三支灯管一组的通常是 T8 灯管，长度为 60cm。传统荧光灯灯盘的规格有 598mm×598mm、598mm×298mm、1198mm×298mm、1198mm×598mm。T8 灯管的长度有 0.6m、0.9m、1.2m，功率有 6W、8W、9W、10W、12W、14W、18W、22W 等。T5 荧光灯管主要用作装饰照明，也有少量用作功能照明。

LED 日光灯直径分类有 T5、T8、T10、T12，面罩分为扩散罩和透明罩（条纹透明罩），常用的 LED 日光灯为 T5、T8，同时也有声控 LED 日光灯、红外控制 LED 日光灯、微波雷达感应 LED 日光灯。



“T”代表英文“Tube”，表示管状，T 后面的数字表示灯管直径。T8 就是有 8 个“T”，一个“T”是 1/8 英寸。1 英寸为 25.4mm，一个“T”等于 25.4÷8=3.175mm。

2．传统荧光灯与 LED 日光灯管用电费用对比

工业用电时，传统荧光灯与 LED 日光灯管用电费用对比表如表 5-1 所示。

表 5-1 传统荧光灯与 LED 日光灯管用电费用对比表（工业用电）

用户类型	电价分类			数量（支）	日光灯管			LED 灯管			LED 灯管比日光灯管			一年节约电费（元）
	用电属性	时间（h）	电费单价（元/kW·h）		功率（W）	月总用电量（kW·h）	月总电费（元）	功率（W）	月总用电量（kW·h）	月总电费（元）	月节约电量（kW·h）	节约电费（元）	节约率	
工业用电	高峰	3	1.11	2000	36	6480	7193	12	2160	2398	4320	4795	67%	
	平段	8	0.72	2000	36	17280	12442	12	5760	4147	11520	8294	67%	
	低谷	1	0.39	2000	36	2160	842	12	720	281	1440	562	67%	
小计		12				25920	20477		8640	6826	17280	13651	67%	163814

商业用电时，传统荧光灯与 LED 日光灯管用电费用对比表如表 5-2 所示。

表 5-2 传统荧光灯与 LED 日光灯管用电费用对比表（商业用电）

用户类型	电价分类			数量（支）	日光灯管			LED 灯管			LED 灯管比日光灯管			一年节约电费（元）
	用电属性	时间（h）	电费单价（元/kW·h）		功率（W）	月总用电量（kW·h）	月总电费（元）	功率（W）	月总用电量（kW·h）	月总电费（元）	月节约电量（kW·h）	节约电费（元）	节约率	
商业用电	常规	24	1.01	500	36	12960	13090	15	5400	5454	7560	7636	58%	
小计		24	1.01	500	36	12960	13090	15	5400	5454	7560	7636	58%	91627

3．LED 日光灯的结构

LED 日光灯（LED Tube Fluorescent Light）以 LED 为光源，是与传统荧光灯在外形上一致的一种用于室内普通照明的组合式直管型照明灯具，由 LED 模块、LED 驱动（控制）器、散热铝型材、透光罩（PC 罩）及两个堵头构成，可包括灯座和灯架。

LED 日光灯常用灯珠封装有 SMD3528、SMD3014、SMD2835、SMD5630、SMD5730，目前 LED 日光灯灯珠都是中小功率的 LED 光源，如果采用 0.5W 功率的 LED 光源，都是在降低功率使用。其产生的热量相对较小，对整体的 LED 灯管来说不会产生太大的热量，同时也降低灯珠的光衰问题。对于灯珠的光衰而言，笔者认为主要取决于良好的散热处理以及合理的工作电流和环境。同类型 SMD2835 灯珠的对比如表 5-3 所示。

表 5-3　同类型 SMD2835 灯珠的对比

序号	型号	外形尺寸（mm）	功率或电流	发光形式	发光面积（mm^2）	散热特性			发光角度（°）
						散热形式	散热面积	散热效果	
1	SMD3528	3.5×2.8×1.9	0.06W(20mA)	圆点	4.5	无	无	差	90
2	SMD3014	3.0×1.4×0.8	0.1W(30mA)	正面	3.64	带散热片	小	一般	90
3	SMD2835	2.8×3.5×0.8	0.2W(60mA)	正面	9.18	带散热片	大	优	120
4	SMD2835	2.8×3.5×0.8	0.5W(150mA)	正面	9.18	带散热片	大	优	120



（1）单颗 SMD3528 灯珠正常工作电流是 20mA，SMD3014 灯珠是 30mA 左右，V_F 值为 3.0～3.5V。目前超薄单颗 SMD2835 灯珠正常工作电流已达到 60mA，甚至有的达到 150mA，单颗 SMD2835 功率在 0.5W 左右。

（2）LED 日光灯管光源为 SMD2835 封装，芯片热量直接从支架底部导出，相对 SMD3014 散热面积更大、散热性能更加优良，发光面积是 SMD3014 的 2.3 倍、SMD3528 的 2.1 倍。

（3）LED 日光灯内装配电源使用的 PC 罩、外壳、堵头等套件必须满足 UL94-V0 及以上防火等级。

（4）EMC 性能受 LED 灯具及走线的影响，LED 灯具制造商需对 LED 灯具重新进行 EMC 测试确认。

LED 日光灯外壳具有高透光、高扩散、无眩光、无光影；光源隐蔽性极佳、透光率达到 94%、高阻燃性、高抗冲击强度；可以将点光源发光转成球面发光的特点。

PC 罩的表面也会根据所需要的光线均匀度的不同而不同，有的全透明，其好处是可以使全部的光线照射到灯管外部；有的采用条纹状，这种方案起到把光线打散的效果，得到较为均匀的光，但是会有一定的光损失，为 10%左右；还有的是乳白色，这种方案可以达到均匀出光的效果，与传统的荧光灯效果一样，只是会损失掉 30%的光。可以根据不同的使

用场合选用不同的 PC 灯罩来达到相应的效果。根据 LED 的发光原理，在追求更高亮度的同时其眩光更加严重。消除眩光一般有两个办法：

☺ 尽量选择低色温的产品。

☺ 对灯具的发光面进行处理，如磨砂、雾化等；对光线进行扩散，但会降低 LED 灯具的光利用率。

1）半塑半铝管 在发现了热量散不出去的问题之后，就采用半塑半铝的方案。在需要透光的那一半采用塑料，在不需要透光而需要散热的那一半采用铝合金，电源放在铝管里面，即半塑半铝管，如图 5-1 所示。现在市面上的 LED 日光灯大部分都采用半塑半铝管的方式。

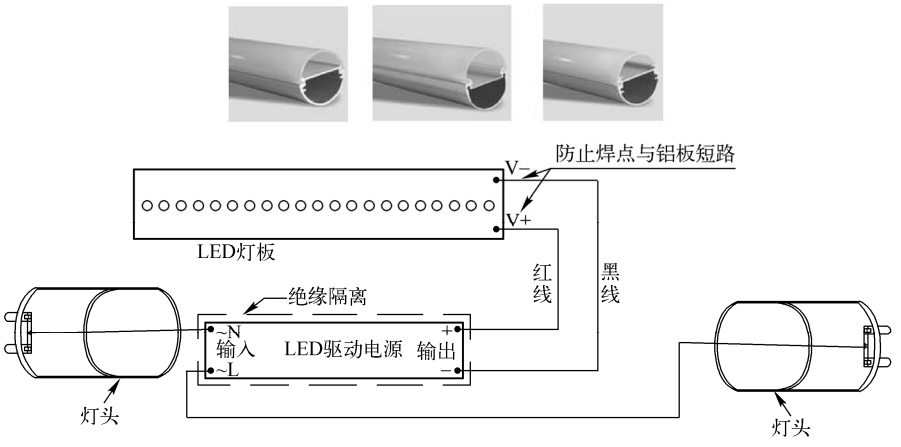


图 5-1 半塑半铝管及内部接线示意图



☺ T8 椭圆管，包括灯头、铝材、PC 罩。灯头与 PC 罩均采用日本帝人公司的材料，耐高温，不会变形，透光率高，铝材是采用 6063 铝。

☺ T8 日光灯管是全塑半铝，适用 9.5mm 宽的光源板，颜色为乳白色，透光率为 90%。包含纳米管 1 根、堵头 2 个、保护针 2 个，有 0.6m、0.9m、1.2m。

2）扇骨形铝管 电源放到管外，从而可以把半边铝壳完全做成散热器。扇骨形铝管采用扇骨形状的散热结构，大大增加了散热器面积。相对于半圆形的铝管来说，其散热面积至少增大了 3 倍以上。再加上电源不放在管内，又可以减少热量，所以大大延长了 LED 的寿命。扇骨形铝管如图 5-2 所示。

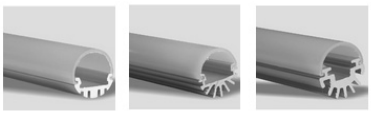


图 5-2 扇骨形铝管

说明

LED 日光灯包括灯头、铝材、PC 罩三大部件，灯头采用 V0 与 V2 两种材质，优点是防火级别高；铝材大部分是采用 6063 铝；PC 罩采用日本帝人公司的材料，具有透光率高、耐高温、不会变形等优点。

说明

- ☺ LED 日光灯板宽 8.6mm，长 0.6m（530×8.6×1.0 SMD2835 12 串 4 并）、0.9m（830×8.6×1.0 SMD2835 18 串 4 并）、1.2m（1130×8.6×1.0 SMD2835 25 串 4 并）。
- ☺ LED 日光灯板宽 9.5mm，长 0.6m（563×9.5×1.0 SMD2835 12 串 4 并）、0.9m（865×9.5×1.0 SMD2835 18 串 4 并）、1.2m（1170×9.5×1.0 SMD2835 24 串 4 并）。
- ☺ LED 日光灯板宽 10mm，长 0.3m（265×10×1.0 SMD2835 12 串 2 并）、0.6m（563×10×1.0 SMD2835 12 串 4 并）、0.9m（865×10×1.0 SMD2835 18 串 4 并）、1.2m（1170×10×1.0 SMD2835 24 串 4 并、25 串 4 并、12 串 9 并、30 串 4 并、24 串 5 并、22 串 6 并）、 1.5m（1470×10×1.0 SMD2835 22 串 6 并）。
- ☺ LED 日光灯功率有 8W、10W、12W、15W、18W、19W、20W、22W、23W、30W 等。

铝合金挤压型材（简称铝挤）有几种截面形状，根据所采用的基板而不同，有的是中间有横截面，有的中间是中空，有的采用上下两层。散热形式也各异，有的采取小波纹散热片，有的是鳍片的，还有的没有散热片。散热片的厚度也各不相同，应根据实际情况选择应用。有的铝挤没有涂散热膏，有的涂散热膏以此来增强散热效果。

3）一体化 LED 日光管 LED 一体化日光管自带电源（光源和安装支架一体式的形式），将支架用螺钉固定在墙面上后，直接接通 220V 交流电即可使用。由于 LED 本身不易损坏，但 LED 本身发出的热量很大，如果散热面积过小，容易导致 LED 光衰较大。因此将灯和支架设计在一起，在降低成本的同时，又能保证 LED 的光衰小。一体化 LED 日光管如图 5-3 所示。它分为 T5 与 T8 一体化 LED 日光管，其灯体采用铝合金挤压型材，灯罩采用进口高透光 PC 材料，无眩光、面光源。T5 无影一体化 LED 灯管目前最流行，其尺寸有 0.3m、0.6m、0.9m、1m、1.2m。



图 5-3 一体化 LED 日光管

说明

（1）LED 日光管符合 CE、RoHS 要求，电源符合 GB 19510.14—2009/IEC61347-2-13:2006 标准。

（2）LED 日光管可通过 3kV 耐压测试，引脚与铝外壳可通过 1.5kV 高压测试。

（3）铝基板是一种具有良好散热功能的金属基覆铜板，由电路层（铜箔）、绝缘层和金属基层组成。

4）红外感应 LED 日光灯管 红外感应 LED 日光灯管利用人体产生的红外光谱工作。当有人进入红外感应 LED 灯管感应范围时，利用传感器探测到人体红外光谱的变化自动输出高电平，人不离开感应范围将持续输出高电平，人离开后开关延时自动关闭负载，智能检测周围电磁环境，自动调整工作状态。红外感应 LED 日光灯管的外形与接线图如图 5-4 所示。



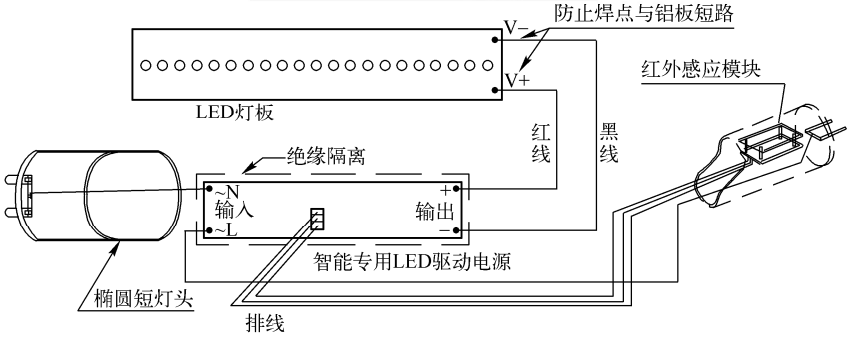


图 5-4 红外感应 LED 日光灯管的外形与接线图

5）微波雷达感应 T8 LED 灯管 微波雷达感应 T8 LED 灯管利用微波普勒原理，巧妙地把微波感应器微缩在 LED 灯管内，当感应区内没有移动物体时，感应灯管处于休眠状态，灯管处在小夜灯（如 3W）状态，可以满足安保监控照明的要求。灯管待机模式分为 0%～100%及 30%～100%两种，可以根据不同要求进行选择。微波雷达感应 T8 LED 灯管的外形与接线图如图 5-5 所示。

6）恒流二极管 LED 日光灯 恒流二极管（CRD Current Regulator Diodes）目前主要应用在 LED 日光灯中。其原理就是用传统低压恒流二极管把电压从低压恒流提升到高压恒流，为 LED 日光灯在电源电压变化时提供稳定恒定电流。恒流二极管相当于低级的恒流源或最大峰值电流的限制电路，在电网电源出现电源电压供电不稳定或是负载电阻变化很大的情况下，都能确保给 LED 日光灯灯板提供基本稳定的供电电流，从而使 LED 日光灯能正常工作。

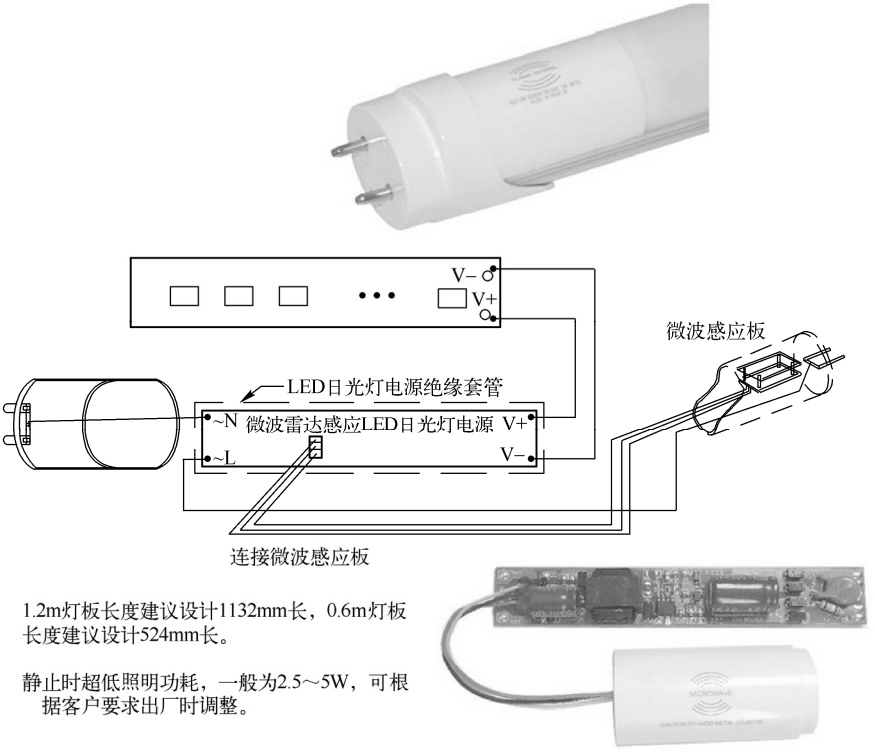


图 5-5　微波雷达感应 T8 LED 灯管的外形与接线图

目前恒流二极管方案一般用在 220V 工作的地区及电网电压比较稳定的地区。一般应用于 3014 的灯板，做到 85 串 2 并左右，灯板一般做成玻纤板。

4．电源

LED 日光灯的电源分为内置式和外置式两种，同时具备过温保护、过压保护、欠压保护、短路保护等防护功能。

1）内置式　所谓内置式就是指电源可以放在灯管内部。其最大优点就是可以做成直接替换的 LED 灯管，而无须做任何改动。内置式电源的形状都是长条形的，可以塞进半圆形的灯管中去。

（1）非隔离式恒流电源。非隔离式恒流电源在负载端和输入端有直接连接，因此触摸负载就有触电的危险。

目前用得最多的是非隔离式直接降压型电源，也就是把交流电整流以后得到直流高压，然后直接用降压（Buck）电路进行降压和恒流控制。其主要技术特点如下。

☺ AC 18 ~ 450V 的宽电压输入范围，恒流输出。

☺ 采用频率抖动减小电磁干扰，利用随机源来调制振荡频率，这样可以扩展音频能量谱，扩展后的能量谱可以有效减小带内电磁干扰，降低系统级设计难度。

☺ 可用线性及 PWM 调光，支持上百个 0.06W LED 的驱动应用，工作频率为 25 ~ 300kHz，可通过外部电阻来设定。

非隔离式 LED 日光灯电源的优点是简单、指标高，其输出电流可以按 LED 串、并联的个数决定。但是大多数情况下，输出电流不能太大，输出电压也不能太高。

例如，120 珠 0.2W LED 光源（LED 的电压典型值为 3.2V，电流为 60mA）连接成 24 个串联、5 个并联，每串 48mA，一共 240mA。体积也可以做得很小，通常做成长条形的，以便放进 T10 或 T8 的管子里。假如每串的电流是 60mA，5 并就是 300mA，在有些非隔离式电源中就无法实现，为了保持总电流 240mA 不变，只能改成 4 个并联。但假如 LED 的总数不变，就要求串联的数目增加到 30 个，这时候总电压就会增加到 96V。但是通常这种非隔离式恒流源允许的最高输出电压是 80V，只能维持原来的 24 串，这样 LED 的总数只能是 96 个，即使采用 60mA，其总流明数也有可能不能满足要求。



- ☺ 目前，非隔离式 LED 日光灯恒流源串联个数不超过 25 个，电流不超过 260mA。具备完善的过流、过压、短路、过温、过功率保护功能，可抗雷击浪涌 1kV。
- ☺ 目前，常规非隔离 LED 日光灯恒流源输出电压为 DC 20～84V，输出电流为 60～260mA。
- ☺ 个别公司生产非隔离式 LED 日光灯恒流源输出电压（负载）为 DC 24～90V，输出电流（负载）为 600mA。
- ☺ 非隔离式 LED 日光灯恒流源通过 EMC、EMI 测试，具有超强的抗干扰和抗辐射能力，适合在电磁干扰强烈的场合使用。

通常其效率为 88%～90%，功率因数为 0.88～0.92。然而这种非隔离式电源也有局限性，因为非隔离的电源会把交流电源的高压引入到负载端，从而引起触电的危险。通常 LED 和铝散热器之间的绝缘就靠铝基板印制板的薄膜绝缘。虽然这个绝缘层可以耐 2000V 高压，但有时螺丝孔的毛刺会产生所谓的爬电现象，使其难以通过 CE 认证。耐压测试一般是测试驱动电源输入端与灯具外壳间的耐压值。

（2）隔离式恒流电源。隔离式恒流电源是指在输入端和输出端之间有隔离变压器隔离，隔离变压器可能是工频的也可能是高频的，但都能把输入和输出隔离起来，可以避免触电的危险。一般来说，由于加入了变压器，所以隔离式电源的效率会有所降低，通常为 88%左右。而且变压器的体积也比较大，放进 T10 灯管还可以，但是放进 T8 灯管就比较紧张。

2）集中式外置电源 为了得到最高的性能最好采用集中式外置电源。因为目前推广 LED 日光灯的主要场所是政府机关、办公室、商场、学校、地下停车库、地铁等，往往一间房间采用不止一个日光灯，可能在 10 个以上。这时就应该采用集中式外置电源。所谓集中式是指采用一个大功率的 AC/DC 开关电源，统一供电，而每个日光灯则采用单独的 DC/DC 恒流模块。这样可以得到最高的效率和最大的功率因数。

3）国内兼容型 LED 日光灯电源 针对内置式 T8、T10 灯管研发的一款隔离式 LED 驱动电源，大大提高了安全性以及降低整灯设计的难度。自带 PFC 校正；可适应 90～265V 宽电压输入范围，输出电压介于 35～42V 之间；具有开路、短路、过载等保护，兼容电感式镇流器，不需要修改线路或取消启辉器；方便地实现了对传统荧光灯管的直接替换；同时也

兼容国内大部分电子镇流器，可直接替换传统荧光灯管。电流最大为 480mA，串联灯的个数不超过 12 个。

4）双端型 LED 日光灯驱动电源 双端电源解决了像长条形电源需要在电源及 PCB 上焊线的问题，帮助客户节省了以往所需线材的成本。在 PCB 上加上插针，向下对接一按就可以了，大大提高了员工的工作效率。

5）堵头电源 内置式非隔离恒流驱动电源，采用低温升超薄设计，具有体积小巧、恒流精度高、稳定性好、保护功能齐全、性价比高、长寿命、节能、环保等优点；具有欠压、过压、过载、短路、开路、过温等保护。



☺ PCB 上印有“L”和“N”为交流市电输入端，且“L”对应接在电网的相（火）线上，“N”对应接在电网的零线上；PCB 上印有“LED+”和“LED−”为接 LED 负载端，“LED+”对应接在 LED 负载的正极上，“LED−”对应接在 LED 负载的负极上；先接好负载，并确认接线的正确性和接触良好，再上电工作，如有异常立即切断交流输入端。

☺ T8、T5 LED 日光灯可控硅调光电源，具有 1%～100%平滑调光，支持前沿、后前、前调光器，效率达到 90%，PF 值在 0.8 以上。

5．LED 日光灯的光衰问题

LED 产品的光衰就是光在传输中的信号减弱，而现阶段全球 LED 生产商，特别是知名 LED 生产商做出的 LED 产品光衰程度都不同，大功率 LED 同样存在光衰。这与温度有直接的关系，主要是由芯片、荧光粉和封装技术决定的。目前，市场上白光 LED 的光衰可能是向民用照明进军的首要问题之一。针对 LED 的光衰主要有以下两大因素。

1）LED 产品本身品质问题

☺ 采用的 LED 芯片品质不好，亮度衰减较快。

☺ 生产工艺存在缺陷，LED 芯片散热不能良好地从 PIN 脚导出，导致 LED 芯片温度过高而使芯片衰减加剧。

☺ LED 的封装技术未采用抗衰减材料工艺，白光 LED 配荧光粉的专用胶水耐温及抗衰减特性不好等。

☺ LED 在设计应用过程中散热不合理。

2）使用条件问题

☺ LED 为恒流驱动，有部分 LED 采用恒压驱动而使 LED 衰减过快。

☺ 驱动电流大于 LED 额定驱动电流。

☺ LED 的工作电流与芯片尺寸不匹配，若芯片尺寸在 12mil 以下，建议工作电流在 15mA 以下，芯片尺寸在 12mil 以上可选用 20mA 电流工作，芯片尺寸在 10×25mil、17×34 mil 以上可选用 60mA 电流工作。

☺ LED 的 V_F 值过高导致发光效率低，发热量过高。

LED 芯片本身的热阻、银胶的影响、基板的散热效果，以及胶体和金线方面也都与光

衰有关系。其实导致LED光衰的原因很多，最关键的还是散热问题。

6．LED日光灯电源使用指南

- ☺ 在使用 LED 日光灯电源时，应注意区分输入端和输出端，并正确接线，核对无误后才能通电。
- ☺ 先接好DC 输出端的负载，确认无误，再接通LED日光灯电源。
- ☺ LED 日光灯电源为非隔离式设计时，如果开路通电，在关断电源后，必须等输出端储存的电能释放完后再接LED，否则可能烧坏LED。
- ☺ 焊接电源线避免与其他焊点连锡、虚焊、假焊、短路，所有引线都避免直接接触电容表面。
- ☺ 装配LED日光灯时，请勿大力挤压，避免元器件的变形和损伤。
- ☺ 使用环境温度必须按照规格书要求。
- ☺ 电源灌胶使用时必须选用电气性能和硬度等均适用的 LED 日光灯电源灌封胶，需要保证灌封胶的绝缘电气性能和物理强度性能，并确认热膨胀特性适合配套使用。
- ☺ LED 日光灯电源装配到灯具中后需要根据实际情况进行 24h 以上的老化测试，以确保灯具产品质量。
- ☺ 尽量避免LED日光灯电源中的电解电容外壳直接接触到灯具的外壳。
- ☺ 所有的LED日光灯电源引线必须选用高温导线，并且避免引线受到挤压。
- ☺ 避免裸露引线和金属灯壳直接接触LED日光灯电源。



LED日光灯电源两端各有两个端子，一端为AC输入端，AC-L 和 AC-N 接市电交流电压；另一端为DC 输出端，LED+和LED−分别接LED 灯的正极和负极。

5.2 LED T8管的设计与组装

5.2.1 LED T8管驱动器的设计

LED日光灯工作电压一般都在DC 80V以下，一般情况下60cm的LED日光灯个数为48个SMD2835 LED，120cm的LED日光灯个数为96个SMD2835 LED（每个LED日光灯生产商生产的 LED 功率大小都可能不同，因为到目前为止，还没有相应的地方标准和国际标准可以参考）。

为了工作在安全电压下（隔离电源），工作电压一般为DC 27～42V。一般以12个LED串联为主，以12倍数为基数。

LED日光灯采用非隔离式电源，工作电压一般为DC 36～80V。一般以24个LED串联为主，以24倍数为基数。

考虑光衰、散热、寿命和成本多种因素，用 0.2W（SMD2835）的高亮度小功率白光

LED 设计日光灯比较合理，0.2W（SMD2835）的工作电流为 45～50mA。PT4107 适于设计 20W 以下的 LED 日光灯，推荐 18W、9W、7W 三种设计方案。

（1）18W 的灯管用 96 颗 LED（SMD2835），采用 24 串 4 并结构（矩阵结构），输出电流为 200mA；或者采用 12 串 8 并结构（矩阵结构），输出电流为 400mA。也可以用 110 颗 LED（SMD2835），采用 11 串 10 并结构（矩阵结构），输出电流为 500mA；或者采用 22 串 5 并结构（矩阵结构），输出电流为 250mA。

（2）9W 的灯管用 72 颗 LED（SMD2835），采用 24 串 3 并结构（矩阵结构），输出电流为 150mA；或者采用 12 串 6 并结构（矩阵结构），输出电流为 300mA。

（3）7W 的灯管用 48 颗 LED（SMD2835），采用 24 串 2 并结构（矩阵结构），输出电流为 90mA；或者采用 12 串 4 并结构（矩阵结构），输出电流为 180mA。



多串少并的 LED 阵列适于 220V 的市电，少串多并的阵列适于 100～127V 的市电。

所有的模块可以用相同的电路，通过调整采样电阻 R_S 的值修正恒流值。更好的方法是针对功率大小设计不同的电路，在效率和成本上达到最佳。模块的形状根据灯管的结构设计，直接替换型管形日光灯驱动器设计成矩形长条形状，安装在灯管中。非替换型和环形日光灯驱动器设计成传统镇流器形状，安装在灯架或底座上。

在设计过程中，因为 LED 日光灯都采用串并联的结构，可以在 LED 灯板加 NTC 热敏电阻。当电路出现意外状况时，可能会使电流增大，这时热敏电阻阻值也变大，从而降低电流，起到保护 LED 的作用。

LED 日光灯的 LED 灯条电源驱动方案有很多种，如 PT4107、HV9910、BP2808、SMD802、A704 等 LED 日光灯的电源方案。目前非隔离式方案因其效率高而占主流，而用 PWM LED 驱动控制器来做 LED 日光灯驱动电源的又占绝大多数。PT4107 是一个典型的 PWM LED 驱动控制器，其内部拓扑结构如图 5-6 所示。

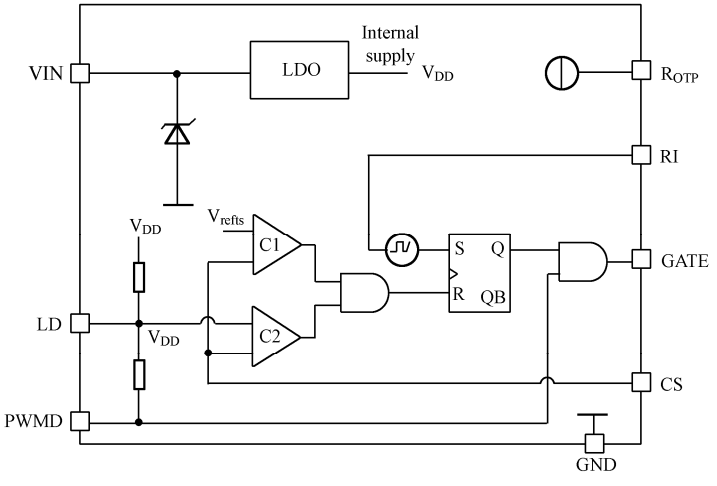


图 5-6　PT4107 内部拓扑结构

PT4107是一款高压降压式PWM LED驱动控制器，通过外部电阻和内部的齐纳二极管（稳压二极管），可以将经过整流的110V或220V交流电压钳位于20V。当V_{IN}上的电压超过欠压闭锁阈值18V后，芯片开始工作，按照峰值电流控制的模式来驱动外部的MOSFET。在外部MOSFET的源端和地之间接有电流采样电阻，该电阻上的电压直接传递到PT4107芯片的CS端。当CS端电压超过内部的电流采样阈值电压后，GATE端的驱动信号终止，外部MOSFET关断。阈值电压可以由内部设定，或者通过在LD端施加电压来控制。如果要求软启动，则可以在LD端并联电容，以得到需要的电压上升速度，并与LED电流上升速度相一致。

PT4107的主要技术特点是：

（1）18～450V的宽电压输入范围，恒流输出。

（2）采用频率抖动减小电磁干扰，利用随机源来调制振荡频率，这样可以扩展音频能量谱，扩展后的能量谱可以有效减小带内电磁干扰，降低系统级设计难度。

（3）可用线性及PWM调光，支持上百个0.2W LED（SMD2835 LED）的驱动应用，工作频率为25～300kHz，可通过外部电阻来设定。

PT4107封装如图5-7所示，各引脚功能如下。

☺ GND：芯片接地端。

☺ CS：LED峰值电流采样输入端。

☺ LD：线性调光接入端。

☺ RI：振荡电阻接入端。

☺ ROTP：过温保护设定端。

☺ PWMD：PWM调光兼使能输入端，芯片内部有100kΩ的上拉电阻。

☺ VIN：芯片电源端。

☺ GATE：驱动外挂MOSFET栅极。

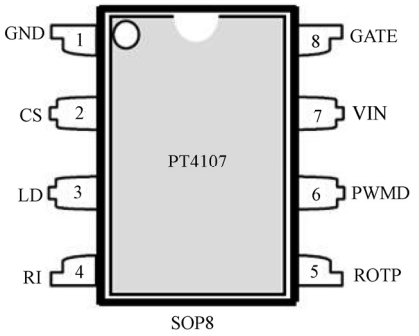


图5-7　PT4107封装

1．设计全电压20W日光灯开关恒流源

以AC 85～265V全电压输入为例，采用PT4107 PWM LED驱动控制器来做LED日光灯驱动电源的主芯片，设计一个比较理想的应用电路方案，如图5-8所示。该方案全电路由

抗浪涌保护、EMC 滤波、全桥整流、无源功率因数校正（PFC）、降压稳压器、PWM LED 驱动控制器、扩流恒流电路组成。

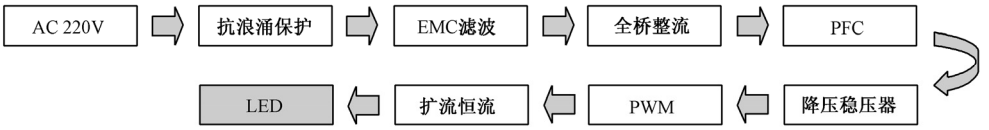


图 5-8　全电压 20W 日光灯开关恒流源

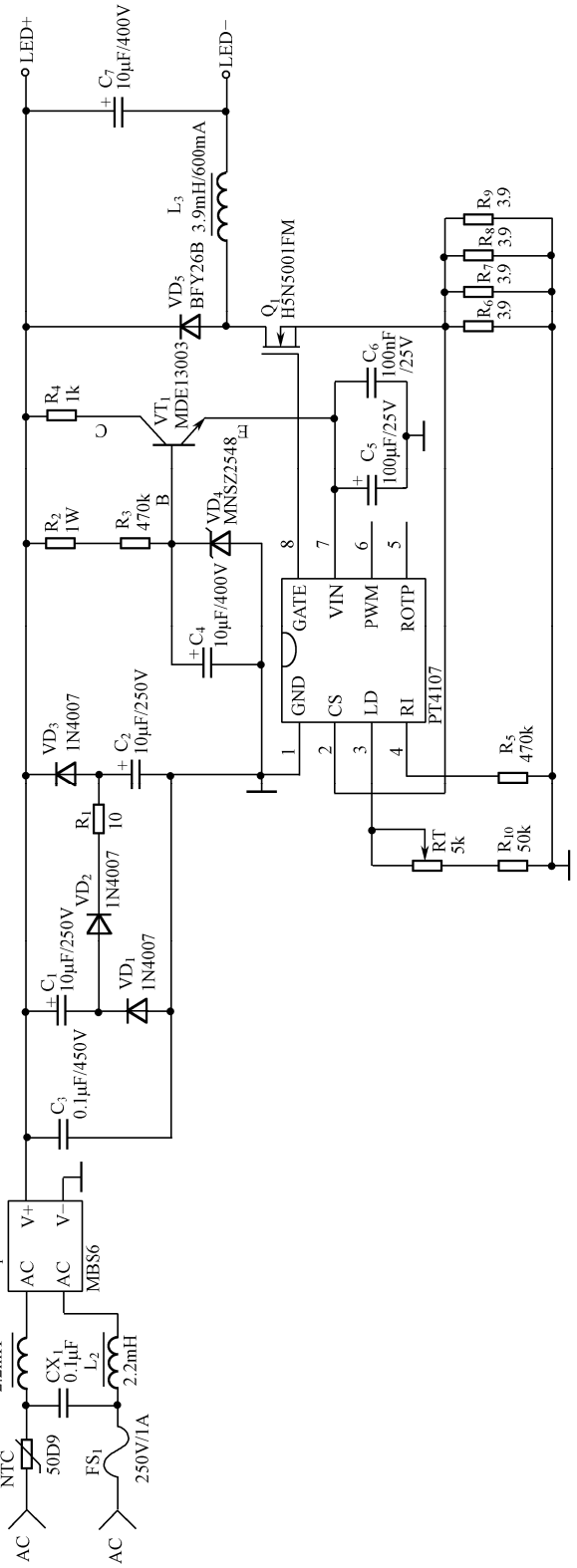
按此理念，设计成的全电压 20W LED 日光灯开关恒流源电原理图如图 5-9 所示。从 AC 220V 看进去，交流市电入口接有 1A 熔断器 FS_1 和抗浪涌负温度系数热敏电阻 NTC，之后是 EMI 滤波器，由 L_1、L_2 和 CX_1 组成。BD_1 是整流全桥，内部是 4 个高压硅二极管。C_1、C_2、R_1、VD_1～VD_3 组成无源功率因数校正电路。PT4107 芯片由 VT_1、VD_4、C_4、R_2～R_4 组成的电子滤波器降压稳压后供电，这个滤波器输入阻抗很高，输出阻抗很小，整流后近 300V 直流高压经此三极管降压向 PT4107 VIN 端提供 18～20V 的稳定电压，确保芯片在全电压范围内稳定工作。

现在设计的方案不像先前方案的电阻降压电路那样因耗能而发烫。PWM 控制芯片 U_1（PT4107）和功率 MOS 管 Q_1、镇流功率电感 L_3、续流二极管 VD_5 组成降压稳压电路，U_1 采集电流采样电阻 R_6～R_9 上的峰值电流，由内部逻辑在单周期内控制 GATE 脚信号的脉冲占空比进行恒流控制。输出恒流与 VD_5、L_3 的续流电路合并向 LED 光源恒流供电，改变电阻 R_6～R_9 的阻值可改变整个电路的输出电流，但 VD_5、L_3 也要随之改动。R_5 是芯片振荡电路的一部分，改变它可调节振荡频率。电位器 RT 在本电路中不是用来调光的，而是用来微调恒流源的电流，使电路达到设计功率。由于器件的分散性，批量生产时每一块电源板的输出电流会略有不同，所以在生产线上可用此电位器来调整每块电源板的输出电流。为保证已调好电源板的稳定性，一定要选用蜗轮蜗杆微调电位器，并在调好后滴胶固封。

本电路的参数是按每串 22 个 0.2W LED（2835），共 5 个并联，驱动 110 个 0.2W 的白光 LED 负载设计的，每串的电流是 50mA，设计输出为 DC 36～80V/250mA。如果改变 LED 数量，则需修正 R_6～R_9 的参数。

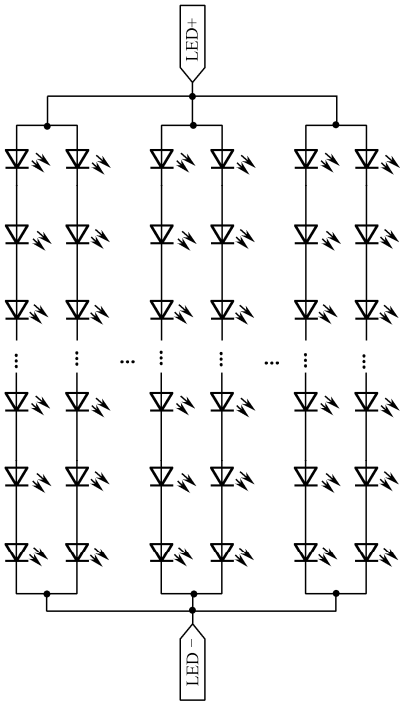
2．电气参数和 BOM 表

恒流源的主要电气参数表如表 5-4 所示，表中的电气参数是在 CCM 模式下，针对 85～265V 交流电源设计的，实际上能在更宽的电压范围内工作，如 60～270V，但输出电流会发生变化。驱动不同厂商的 LED 输出电压会略有变化，这是 LED 的正向压降不同而造成的，不会影响恒流精度。改变振荡频率和元件参数会使电路改变工作状态，例如，降低频率或减小 L_3 的电感量会使电路进入 DCM 模式，这时电路的电气参数就会改变。电路的元器件在成本和可靠性方面做了折中，元器件的数目已减到最低程度。为了保证质量，尽量选用 BOM 表推荐的元器件。详细的材料表（BOM 表）如表 5-5 所示。

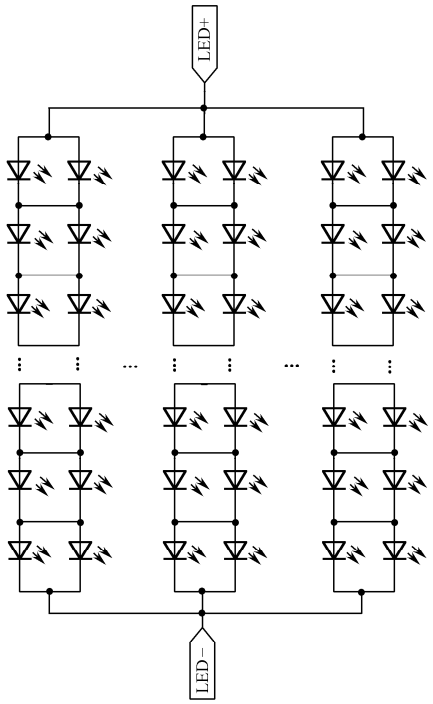


（a）20W LED日光灯恒流源电路原理图

图 5-9　20W LED 日光灯恒流源电路与灯板原理图



（b）混联设计的LED日光灯灯板



（c）交叉阵列设计的LED日光灯灯板

图 5-9　20W LED 日光灯恒流源电路与灯板原理图（续）

表 5-4　恒流源的主要电气参数表

序号	输入电压（V）	85～265
1	电源频率（Hz）	50～60
2	输出电压（V）	36～100
3	输出电流（mA）	200～256
4	开关频率（kHz）	50
5	恒流源效率（%）	89
6	功率因数	0.89
7	3 次谐波失真（%）	16
8	5 次谐波失真（%）	14

表 5-5　20W LED 日光灯恒流源 BOM 表

序　号	标号	名　　称	参数或型号	供应商名称
1	NTC	热敏电阻	50D9	GE Infrastructure
2	FS_1	熔断器	250V/1A	Cooper
3	L_1、L_2	功率电感	2.2mH	Coilcraft
4	CX_1	X 电容（安规电容）	0.1μF/275V	EPCOS Inc
5	BD_1	整流桥	MBS6	Diodes Inc
6	C_1、C_2	铝电解电容	10μF/250V	Nichion
7	C_7	铝电解电容	10μF/400V	Nichion

续表

序　号	标号	名　　称	参数或型号	供应商名称
8	VD_5	超快速恢复二极管	BFY26B	Vishay
9	L_3	功率电感	3.9mH/600mA	Coilcraft
10	R_1	金属膜电阻	10Ω/1W	任何供应商
11	R_2、R_3	SMD 电阻	470kΩ(1206)	任何供应商
12	R_4	SMD 电阻	1kΩ(1206)	任何供应商
13	VD_4	齐纳二极管（稳压管）	MNSZ5248	ON Semiconductor
14	C_4	铝电解电容	10μF/400V	Nichion
15	C_5	陶瓷电容器	100μF/25V	KYOCERA MITA
16	VT_1	晶体管（三极管）	ME13003	MOSPEC Semicon
17	C_3	金属聚丙烯酯电容	0.1μF/450V	EPCOS Inc
18	VD_1～VD_3	硅二极管	1N4007	Fairchild
19	RT	精密电位器	5kΩ(3296)	Bochen
20	R_{10}	电阻	50kΩ(0805)	任何供应商
21	Q_1	功率 MOS 管	H5N5001FM	Renesas
22	R_6～R_9	SMD 电阻	3.9Ω (1206)	任何供应商
23	R_5	SMD 电阻	470kΩ(0805)	任何供应商
24	U_1	集成电路	PT4107	PowTech



☺ LED 日光灯 PCB 按承认书要求规格检查，PCB 拼板微割（V-cut）线清晰可见，LED 日光灯 PCB 长、宽、厚在设计要求范围内。

☺ LED 日光灯 PCB 板边平整无毛边，其表面丝印与样品和图纸一致，标记符号及编号应清晰。

☺ LED 日光灯 PCB 缺口或分层深度不大于板边缘离最近导体的 50%或 2.5mm。

☺ LED 日光灯 PCB 焊盘缺失或油墨覆盖，焊盘有效面积需在 80%以上。

☺ LED 日光灯 PCB 喷锡板来料铜箔喷锡面积需要≥80%焊盘面积。

☺ LED 日光灯标记点要求表面洁净、平整，边缘光滑、齐整，颜色与周围的背景色有明显区别。

☺ 供应商需提供出货报告，其内容包含尺寸、铜箔厚度、铜箔附着力、可焊性、镀层附着性、短/断路测试、耐压测试等。

5.2.2　LED T8 管的组装

1．LED 日光灯产品特点

（1）材质工艺：采用导热性极高的航空铝及专利结构技术设计生产。

（2）使用光源：一律采用低光衰、中功率的 LED（封装为 2835、5730）作为光源，以确保其长寿命、节能、高效、环保的特点。

（3）防触电等级：Ⅱ类。

（4）电源放置：电源置于 LED 灯体内部。

（5）配光种类：120°。

（6）配光方式：透光面（强光）、条纹面（半强光）、扩光面（柔光）。

（7）安装地点：室内。

（8）安装角度：45°、90°、180°。

2．LED 日光灯应用范围

LED 日光灯在国内市场主要应用于超市、高端酒店及办公楼、连锁店、加油站、学校展览馆、图书馆、医院、学校、工厂、机场、停车场等公共照明。美国 LED 日光灯要求有 UL 认证，日光灯的结构也不一样。日本主要对其使用的 LED 光源有专利要求。欧洲 LED 日光灯要求产品品质稳定，达到 CE 标准，要进行 ERP 认证。非洲 LED 日光灯要求低，单价低，属低端市场。LED 日光灯的外形如图 5-10 所示。室内照明 LED 日光灯主要光源的参数如表 5-6 所示。

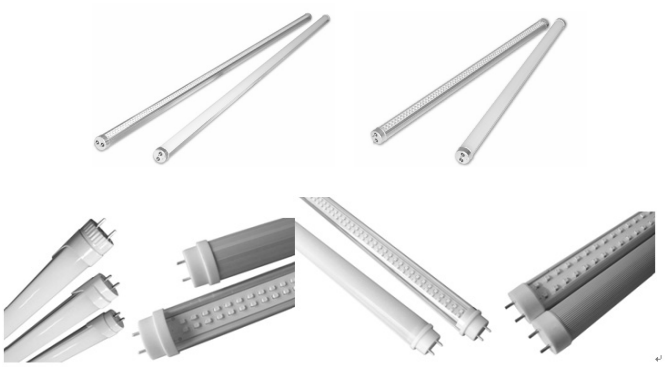


图 5-10　LED 日光灯的外形

表 5-6　室内照明 LED 日光灯主要光源的参数（摘自江西省 LED 日光灯标准）

项　　目		参　　数
显色指数		Ra≥70
初始光效（不带面罩）（lm/W）		≥90
初始光通量（lm）		不低于额定值 90%
色温	冷白 RL	3300K＜T_c≤6500K
	暖白 RN	T_c≤3300K
2000h 光通量维持率		≥95%
5000h 光通量维持率		≥90%

3．LED 日光灯的技术参数（见表 5-7 和表 5-8）

表 5-7　T8 LED 日光灯的技术参数

序　号	名　称	参　数	序　号	名　称	参　数
1	输入电压（V）	AC 85～265	7	光源数量	SMD2835 96/192PCS
2	灯体功率（W）	9/18	8	色温（K）	2700～6500
3	输出光通量 （lm）	800/1450	9	环境温度（℃）	–20～+40
4	灯体效率 （lm/W）	80	10	寿命（h）	＞50000
5	发光角度（°）	120	11	外观颜色	银色
6	显示指数	80	12	净重（g）	＞200/360

表 5-8　T5 LED 日光灯的技术参数

序　号	名　称	参　数	序　号	名　称	参　数
1	材质	1/2 铝，1/2 乳白 PC 罩	9	发光角度（°）	180
2	尺寸（mm）	长 600/900/1200，ϕ15	10	色温（K）	5500～6500
3	LED 灯数	SMD2835 48/72/96PCS	11	显色指数	Ra>80
4	工作电压（V）	AC 80～265	12	光通量（lm）	600
5	消耗功率（W）	8/10/15	13	光电转换效率	80%
6	功率因数	≥0.9	14	使用寿命（h）	50000
7	环境温度（℃）	–20～+40	15	电源安装方式	外置在支架内
8	发光颜色	白色			

LED 不同的色温会产生不同的视觉效果。3000～4500K 会产生一种令人温暖的感觉，但是此种色温的相对照度较低；4500～6500K 是人们常常所说的正白光，看起来为白色；6500～8000K 是冷白光，看上去会给人一种冰冷的感觉，此种色温相对照度较高。可以根据不同的使用场合选用不同的色温来达到不同的效果。

4．LED 日光灯设计

1）LED 日光灯设计注意事项　下面介绍 LED 日光灯设计应注意的事项。

（1）工作环境。由于 LED 日光灯工作环境不一样，设计时应考虑昼夜温差变化、空气中灰尘、化学气体等条件影响，受大自然时效老化，设计时应充分考虑这些因素的影响。

（2）散热方式。外壳和散热器设计为一体，用来解决 LED 的发热问题，一般选用铝或铝合金，利用空气对流散热。选择什么样的散热方式对灯具的成本有直接影响，应综合考虑，与设计产品配套选出最佳方案。

（3）PC 罩。PC 罩选材也是至关重要，要考虑到 PC 罩的冲击强度、加工性、透明度。

PC 板表面 UV 层处理，可以防止老化、黄变现象。采用进口扩散型 PC 材料制作灯罩，在看不到灯珠及不刺眼的情况下，能有良好的透光效果，实测透光率在 85%左右。灯具透光率更高，灯光更加柔和、均匀、不刺眼、不眩目。



PC 灯罩开裂的主要原因是 PC 分子链结构受到破坏，分子链断开，导致产品开裂或表面有裂纹。另外，还受酸碱性环境、强紫外线、高低温的影响。

（4）LED 灯珠。LED 日光灯因为节能效果好，亮度高，价格也逐渐降低，所以越来越普及。采用高亮度灯珠制作，使其达到真正的高亮度、低功率。灯珠芯片的结温会在 75℃以内，其寿命超过 50000h。

SMD2835 LED 的额定工作电流为 60mA，一般 LED 的正向极限电流 I_{Fm} 多在 90mA 左右，且 LED 的光衰电流不能大于 $I_{Fm}/3$（45～50mA）。有一些生产企业一开始就设计 20mA，实际上此电流下工作发热很严重，经多次对比试验，设计成 45～50mA 是比较理想的。N 路并联的总电流为(45～50)mA×N。



- ☺ 超低的光衰率，完全符合美国能源之星的质量要求，使用 25000h 其光通量保持率在 70%以上。选择 LED 灯珠时可以选择通过 LM-80 认证的。
- ☺ LED 的发光强度仅在一定范围内与 I_F 成正比，当 I_F＞60mA 时，亮度的增强已无法用肉眼分辨，实际亮度已经没有增加了。如果电流在 50～60mA，每降低 1mA 电流，其光通量相应降低 4％；读者可据此计算出 LED 白光在工作时的光通量。
- ☺ 一般 LED 的推荐工作电压是 3.0～3.5V，经测试，大部分工作在 3.125V，所以按 3.125V 计算是比较合理的。M 个灯珠串联的总电压为 3.125×M。
- ☺ LED 灯板的串并联与宽电压。要使 LED 日光灯工作在输入电压范围 AC 85～265V，则灯板的 LED 串并联方式非常重要。

（5）PCB。用铝基板作为导热基板，比波纤及半波纤板更具散热功能、导热性更好，很好地配合到灯具本身的散热铝材，使芯片热量尽量释放，从而使结晶温度降低。



- ☺ LED 日光灯要选用耐压高的驱动电源；同时要求铝基板铜箔尽量大，且正极比负极大；控制好铜箔对铝板最小爬电距离不小于 3mm（2.5kV），输入线要求 AWG20 线材，铝基板上的插头、插座裸露金属部分点胶等。
- ☺ PCB 厚度有 0.2～4.0mm，PCB 基材有 FR-4、CEM-3、CEM-1、铝基板、聚四氯乙烯、FR-1（94V0、94HB）等。PCB 工艺有光铜、镀镍、镀金、喷锡、沉金、抗氧化等，PCB 基材铜箔厚度有 18μm（0.5OZ）、35μm（1OZ）、70μm（2OZ）。

（6）电源。高稳定性，输出电流恒定、无漂移（符合 GB 17625.1—2012《电磁兼容 限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流≤16A）》和 GB 17743—2007《电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法》的要求）。高安全性，适合在高湿度、高粉尘、强震动等环境下使用；芯片内部集成过压、过流、过热保护电路。



☺ 选择电源转换效率（输出功率与输入功率的比值）高、PF 值高的电源。PF 值越高，对国家电网越好；转换效率越高，有更多的电被利用。

☺ 标准分为国际标准、国家标准、行业标准、地方标准、企业标准。

☺ 国家标准由我国国务院标准化行政主管部门制定，行业标准由我国国务院有关行政主管部门制定，企业标准由企业生产制定，作为组织生产的依据，并报有关部门备案。

2）T8 LED 日光灯的组装流程 T8 LED 日光灯的组装流程如表 5-9 所示。

表 5-9 T8 LED 日光灯的组装流程

序号	步骤名称	作业内容	质量要求	注意事项
1	刮锡膏	➢ 将铝基板放在平的桌面上。 ➢ 把钢网放在铝基板上边，且钢网的每一个孔要与铝基板上的焊盘一一对应。 ➢ 用刮刀把锡膏均匀地刮进钢网的孔里，刮刀与钢网成 45° 角	➢ 作业过程中铝基板不能折弯，要保持平整、干净	➢ 不能擦掉刮好锡膏的铝基板。 ➢ 检验 LED 灯板铜箔刷锡的效果，如有不良，用无尘布蘸酒精擦拭 FPC，干净后重新印刷
2	贴灯珠（手工）	➢ 拿取将进行贴片作业的装有 LED 防静电盒，放置于作业区域正前方。将已印锡膏的 LED 灯板放置于作业区。 ➢ 用镊子从 LED 防静电盒中取出灯珠贴在刮有锡膏的焊盘上。 ➢ 注意灯珠的方向	➢ 灯珠不能有反向、多件、少件、歪斜现象，且灯珠的两引脚要正好放在焊盘上	➢ 作业时戴好静电手环。 ➢ 印完锡膏至贴片完成不得超过 0.5h
	贴灯珠（SMT）	➢ LED 灯板背面粘锡膏则不得流入 LED 贴装站。 ➢ 更换 LED BIN 值前，将贴片设备内散落元件清除，并在更换后由品质人员进行物料核对。 ➢ SMT 物料按照 BOM 表中指定型号选用，并贴装在指定位置。 ➢ 进料站位上所贴装物料全部要进行品质核对确认，并填写《物料进料记录表》。 ➢ 在贴装中途不可随意更换 SMT 物料。 ➢ 压条距离 LED 灯板 PAD 位置 1cm 以上，LED 灯板方向不得反向	➢ 贴片是否标准，有无歪斜、偏移，假焊、漏焊、极性元件反向等不良现象	➢ 设备参数严禁非技术人员修改

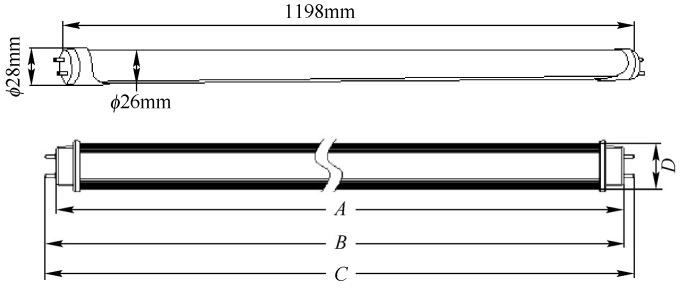
续表

序号	步骤名称	作 业 内 容	质 量 要 求	注 意 事 项
3	过回流焊	➢ 打开回流焊机确认回流焊机的温度、速度，是否符合产品要求。 ➢ 贴完灯珠后，将贴好灯珠的灯板放进回流焊炉里过炉。 ➢ 灯板从回流焊炉里出来冷却后，拿出平直放好，不要折弯	➢ 轻拿轻放，以免灯珠脱落。 ➢ 基板放的方向和回流焊的运行方向平行	➢ 板与板之间的距离不能太小，最好大于 3cm。 ➢ LED 端面偏移不接受，侧面平移不影响组装可以接受，单焊点侧面偏移大于 0.1mm 不接受。 ➢ LED 浮高、竖件、漏件、虚焊及锡珠不接受
4	贴双面导热胶	➢ 在铝塑管的平面贴上双面导热胶，双面导热胶起始端要超出铝塑管 1～2mm。 ➢ 边贴边用手按紧双面导热胶，尽量避免双面导热胶下面有气泡。 ➢ 用刀片沿着铝塑管两端的横截面裁断双面导热胶	➢ 撕下双面导热胶的隔层纸，边撕边看是否有气泡，如有就隔着隔层纸把气体往边缘处挤掉	➢ 双面导热胶与铝塑管充分黏合，避免有气泡
5	贴铝基板	➢ 贴有双面胶的铝基板的一头开始慢慢地边用手按边贴下铝基板，切不可一下将整个铝基板贴上去	➢ 铝基板与双面胶充分黏合，避免有气体存在	
6	焊电源的 AC 线、DC 线	➢ 将电源 PCB 上的“LED+”、“LED−”、“L”、“N”上适量的锡。 ➢ 取红线焊于“LED+”，黑线焊于“LED−”。需直接平焊于焊盘处。 ➢ 短白线焊于“L”，白线焊于“N”。需直接平焊于焊盘处	➢ 线要焊在指定位置，不可焊错位置。 ➢ 焊接时间 2～3s，烙铁温度：设定 320℃，管控范围：±20℃。 ➢ 焊点须饱满，不可有虚焊、锡尖、连锡等不良	➢ 烙铁、海绵由作业者每 2h 清洁一次，海绵必须保持湿润，烙铁使用前，需在海绵边缘擦去烙铁头表面氧化物
7	测试电源输出电流	➢ 电源两 AC 线分别接在测试台上。 ➢ 观察电流表的读数是否在正常范围	➢ 观察灯是否全都亮，若有部分不亮或是都不亮则是不良品，放入不良品区	➢ 电源工作时，切勿同时触摸红、黑色的两线
8	装电源盒	➢ 把LED日光灯电源上比较高的元件压一下。 ➢ 将 LED 日光灯电源套上 PC 电源盒，LED 日光灯电源 PCB 边的距离要一样	➢ 板上元件不能有高件现象	➢ LED 日光灯电源的 PCB 电源板不能露出 PC 电源盒的两头
9	装 LED 日光灯电源	➢ 把 LED 日光灯电源从铝基板上有两“+”的一侧装入铝塑管，把白线端先装入较长的白线穿到铝塑管另外一边，较短的一根白线顺着电源板的侧面高度低的地方拉出来	➢ 电源板要慢慢装入，不要用力过猛	➢ 作业时戴好防静电手环
10	焊堵头	➢ 将堵头焊上白色线。 ➢ 黑色线焊在“LED−”，红色线焊在“LED＋”	➢ 焊点须饱满，不可有虚焊、锡尖、连锡等不良	
11	装 PC 罩	➢ 用布蘸少许酒精擦 PC 罩内外面，装上 PC 罩	➢ PC 罩与铝管两头要对齐	
12	打螺钉	➢ 将两堵头盖上，用螺丝刀打上螺钉	➢ 螺钉不能打歪，不能少打	
13	成品灯测试	➢ 把 LED 日光灯电源两 AC 线分别接在灯管的两堵头上。 ➢ 观察灯是否全亮，若有部分电源不亮或是都不亮则是不良品，放入不良品区。 ➢ 观察功率计的读数是否在正常范围		

续表

序号	步骤名称	作 业 内 容	质 量 要 求	注 意 事 项
14	老化测试	➢ 产品装入老化架测试 24h。 ➢ 测试 24h 后，观察灯是否全亮，若有部分不亮或是都不亮则是不良品，放入不良品区。若都亮，则是良品		
15	贴标签	➢ 用抹布蘸适量的酒精，擦除灯管表面的污垢。 ➢ 正看贴纸，左边界距堵头边的距离约 1mm，贴纸的上下边距铝塑管边约 3mm	➢ 贴标签位置要得当，不能歪斜，不能有褶皱	
16	光通量测试	➢ 取老化后的产品 5PCS 在积分球仪器上测试灯管的光通量等参数。 ➢ 核对测试的结果是否在客户要求的范围之内		
17	包装	➢ 内盒或外箱标贴正确，不能有印字、标识错漏。 ➢ 内盒四棱要清，扣舌到位，不能有彩盒开裂、开胶或缺破。 ➢ 包装箱内不能有混灯或少灯。 ➢ 内外箱唛头正确，印字清楚，不能有模糊不清、少油或少笔现象		➢ 包装方式统一无破损，包装文字清晰，内容完全正确无误，图案颜色、包装材质严格按照客户要求

3）传统荧光灯改造 LED 日光灯 现在 LED 灯管基本上都是内置电源，以替换原有的荧光灯，LED 日光灯的长度和灯头如图 5-11 所示。传统用荧光灯又分电感式荧光灯、电子式荧光灯。传统荧光灯由支架、镇流器、启辉器、荧光管四部分组成，而更换成 LED 灯管时需要把启辉器拔掉，同时还需要将支架里面的镇流器短路并拆卸掉。LED 日光灯的安装非常简单，用现有的荧光灯支架就可以。安装时将原有的日光灯取下，换上 LED 日光灯，将原来的启辉器去掉即可。电子式荧光灯在改造时必须将支架里面的电子镇流器完全短路，才能让 LED 灯管正常使用。传统荧光灯改造成 LED 日光灯如图 5-12 所示。



灯头型号	规格尺寸	*A*	*B*		*C*	*D*
		Max.	Min.	Max.	Max.	Max.
T8	26×600	589.8	594.5	596.9	604	28
	26×1200	1199.4	1204.1	1206.5	1213.6	28
	26×1500	1500	1504.7	1507.1	1514.2	28

图 5-11 LED 日光灯的长度和灯头

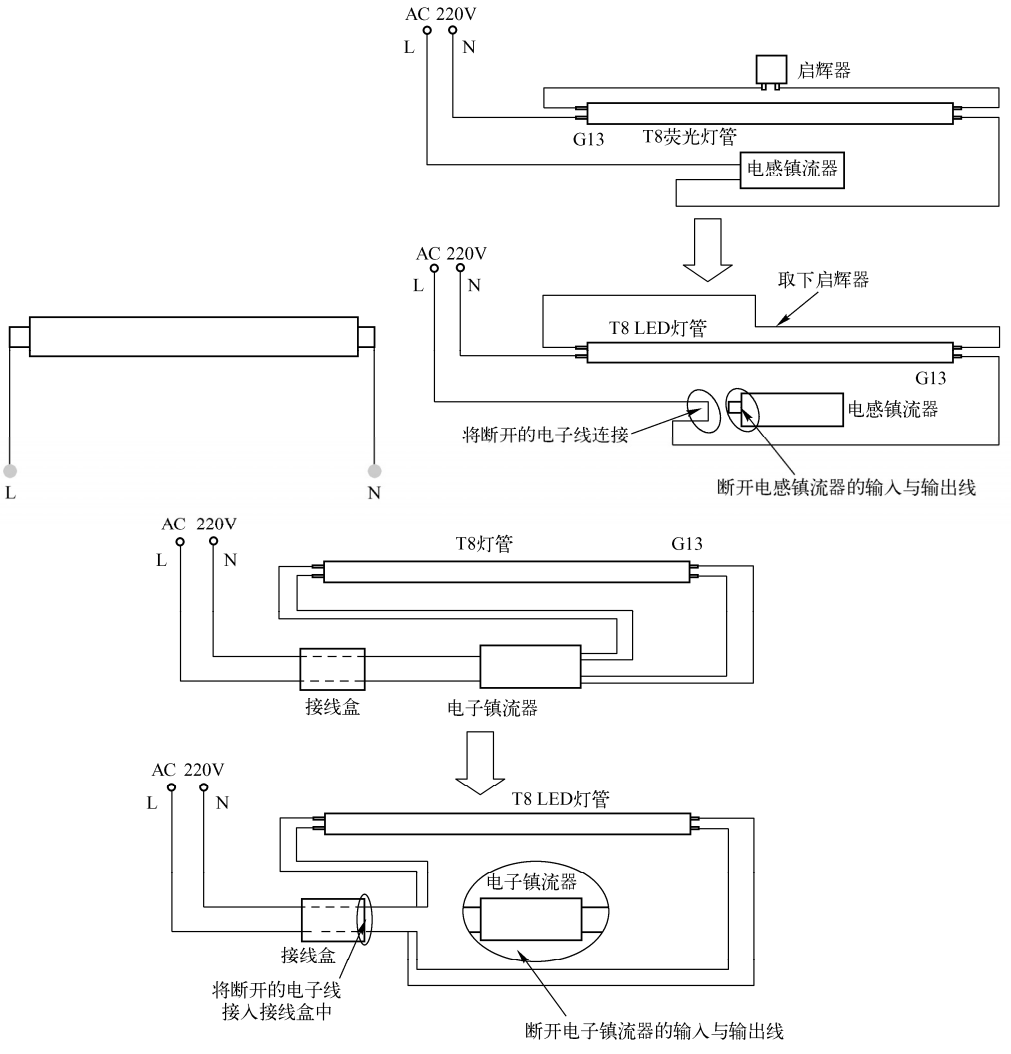


图 5-12　LED 日光灯的线路接线图

LED 日光灯安装注意事项如下。

（1）加电工作前先确认工作电压是否正确，然后给 LED 日光灯供电，误接电压可能会造成 LED 日光灯永久破坏。

（2）在拆开包装使用前，查实 LED 日光灯是否存在运输过程中所造成的损坏。

（3）保证产品的完好状态和使用安全，按说明书上的指示和提醒进行安装。

（4）如果产品周围的温度出现较大的波动，则不要立即接上供电电源，因为产生的热蒸汽可能会损坏产品，务必等到灯具达到室温后方可接通电源使用。

（5）安装前，确保安装位置可以承受 10 倍于该产品的重量。安装于无振动、无摇摆、无火灾隐患的平坦地方。

（6）LED 日光灯管工作时，灯体外壳温度可能高达 55℃，应让灯具远离对温度敏感的设备。灯具为半导体照明产品，对环境温度特别敏感，工作环境温度高于 45℃时其使用寿命会大大缩短。故应让灯具远离发热源，保持灯具工作环境的通风透气，以保证其环境温度

适宜。使用时若灯具工作环境温度保持在 0～25℃，则其寿命能更长。

（7）使用 LED 日光灯管时，不要短时间内频繁开、关，否则极易烧毁。

（8）在安装过程中要将常规灯管的启辉器和镇流器拆除，然后接线安装灯管。

5.2.3 LED 一体化灯管的设计

T8 一体化 LED 日光灯的设计主要包括电气部分与机械部分，在此主要对 T8 一体化 LED 日光灯的电气部分与机械部分进行简单的介绍。T8 一体化 LED 日光灯与 T8 LED 日光灯大体上是相同的，不同之处在于 T8 一体化 LED 日光灯是将发光管、支架、散热器三者合为一体。目前这种一体化 LED 日光灯主要应用于学校、医院、办公室、商场、工厂、酒店、会议室、商业洽谈场所、住宅机构等建筑物的照明。LED 一体化灯管的外形与安装示意图如图 5-13 所示。

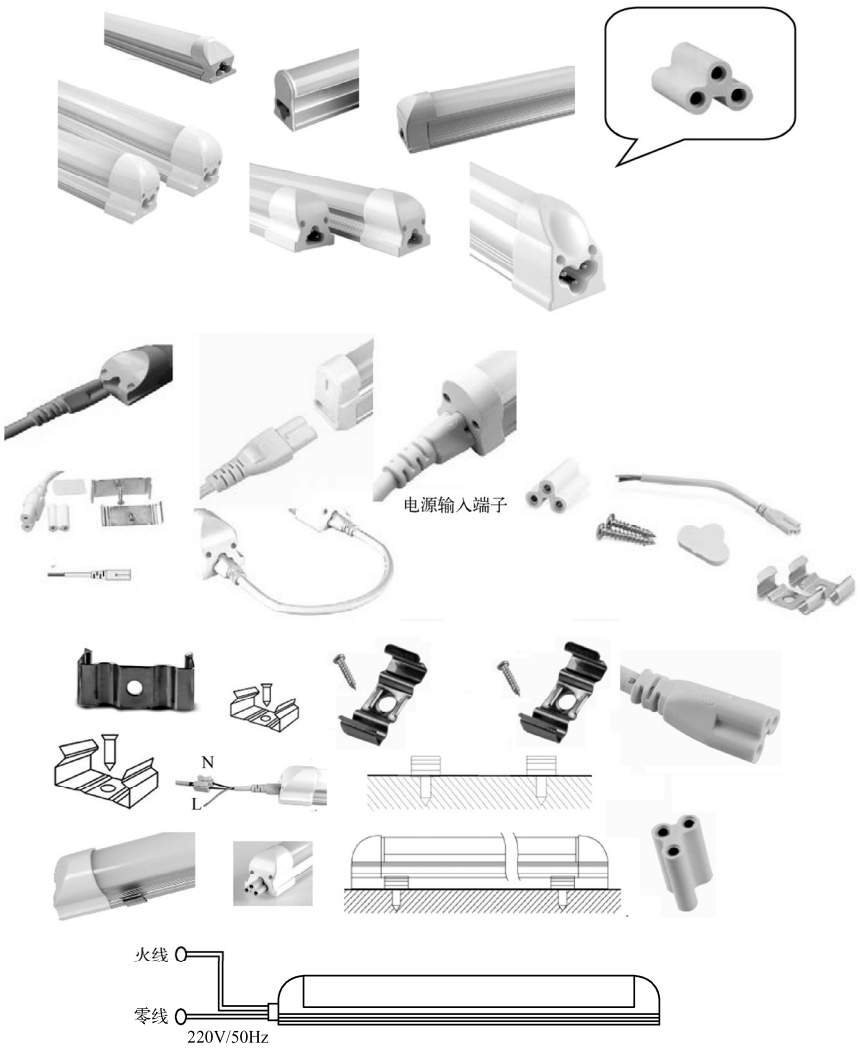


图 5-13 LED 一体化灯管的外形与安装示意图

T8 一体化 LED 日光灯 PC 罩要选择乳白的光扩散罩，这种 PC 罩具有透光率高、防眩光、抗 UV、耐冲击的特点。同时对 LED 灯排布时，充分考虑散热与配光。要选择散热效果好、外形精致、其表面进行相关处理的铝散热器，这样才能有效保证 LED 灯管的寿命。塑胶堵头中的插针要采用低电阻、高传导的铜柱，同对要对插针表面进行防氧化处理。

T8 一体化 LED 日光灯的电气部分主要分为两部分，一部分是 LED 灯板的设计，另一部分是 LED 日光灯电源部分。LED 日光灯电源大部分生产厂家都是外购的，是 LED 日光灯中最重要的部件。

目前 LED 日光灯工作电压为宽电压（AC 85～265V），这就决定了 LED 灯板的 LED 串并联方式。目前市场上的 LED 日光灯电源一般为非隔离电源，在要求 LED 日光灯电源工作在宽电压时，输出电压不要超过 72V（串联数不超过 23 串）。同时并联 LED 个数不要太多（推荐为 6/8/12 并），总电流不超过 240mA。T8 一体化 LED 日光灯的参数如表 5-10 所示。

表 5-10　T8 一体化 LED 日光灯的参数

【规格】0.6m	【规格】0.9m	【规格】1.2m
【功率】9W	【功率】13W	【功率】18W
【光源芯片】台湾进口 2835 灯珠	【光源芯片】台湾进口 2835 灯珠	【光源芯片】台湾进口 2835 灯珠
【发光强度】正白 799lm/暖白 700lm	【发光强度】正白 1154lm/暖白 1010lm	【发光强度】正白 1600lm/暖白 1400lm
【显色指数】80	【显色指数】80	【显色指数】80
【额定电压】AC 220～240V 50～60Hz	【额定电压】AC 220～240V 50～60Hz	【额定电压】AC 220～240V 50～60Hz
【发光角度】180°	【发光角度】180°	【发光角度】180°
【色温】5500～6000K/3000～3400K	【色温】5500～6000K/3000～3400K	【色温】5500～6000K/3000～3400K
【工艺】氧化	【工艺】氧化	【工艺】氧化
【材质】精工航天铝型材	【材质】精工航天铝型材	【材质】精工航天铝型材
【灯体颜色】白色	【灯体颜色】白色	【灯体颜色】白色



无缝拼接型（无影）T5 一体化灯管长度有 0.3m（307mm）、0.6m（568mm）、0.9m（868mm）、1.2m（1168mm），功率有 4W、7W、14W、18W。

笔者建议设计 LED 日光灯灯板时，最好事先与电源厂商沟通，量身定做。这样可以选择最优良的串并联连接方式，同时加在每个 LED 上的电压、电流是一样的，可以使 LED 日光灯电源发挥最好的性能。

LED 日光灯灯板目前有铝基板与 FR4 两种，常用的是 FR4。LED 日光灯灯板一般都是根据功率的大小来设计 LED 灯的数量，LED 灯板的长度、宽度、厚度要根据散热器来定。LED 散热器种类多，外形也不相同。笔者建议设计 LED 日光灯灯板时要考虑到安规的问题。目前 LED 日光灯的排布主要分为横排与竖排两种。具体如何排列要根据实际情况进行。如果设计 T8 120cm 一体化日光灯的灯板，实际上铝散热器的长度为 116cm，铝散热器外形如图 5-14 所示。

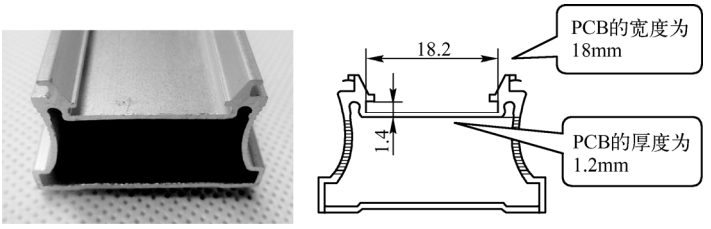
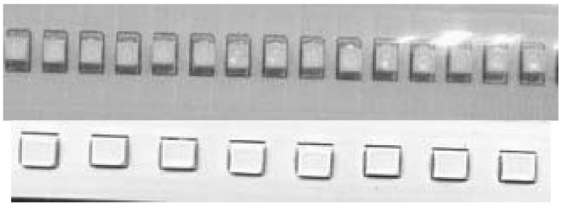


图 5-14　铝散热器外形

根据图 5-14 所示，就可以确定 PCB 的宽度、厚度。长度要根据一体化 T8 LED 日光灯的长度来定。笔者建议设计 LED 日光灯灯板时，LED 日光灯的排布为竖排，如图 5-15 所示。



（a）SMD3014



（b）SMD3528或SMD2835

图 5-15　LED 日光灯灯的排布

下面介绍 T8 一体化 LED 日光灯的组装流程。

由于 T5 一体化 LED 日光灯的组装与 T8 一体化 LED 日光灯的组装相似，这里不做介绍。读者可通过下一节对 T5 一体化 LED 日光灯组装的介绍，达到触类旁通、举一反三的目的。T8 LED 日光灯的组装流程如表 5-11 所示。

表 5-11　T8 LED 日光灯的组装流程（手工组装）

序号	步骤名称	作业内容	质量要求	注意事项
1	刷锡膏	➢ 将钢网开孔和 PCB 电路板焊盘孔一一对应。 ➢ 用刷锡刀将锡膏均匀地刷在钢网上，确保 PCB 焊盘被均匀填充	➢ 电路板焊盘被锡膏均匀填充，无溢出、偏差等现象	➢ 钢网开孔和电路板焊盘对孔后，要用力压住钢网，不要使其位置偏移
2	贴灯珠	➢ 将刷好锡膏的电路板放在平整干净处。 ➢ 对应电路板焊盘上的正负极标志，用镊子将灯珠贴在焊盘上	➢ 均匀美观。 ➢ 灯珠正负极方向与电路板焊盘上一致	➢ LED 灯珠缺角方向为负极
3	加热焊接	➢ 将贴好灯珠的 T8 日光灯 PCB 放在加热板上加热。 ➢ 加热板温度为 180℃，加热至板上锡膏熔化方可取出	➢ 灯珠均匀分布，无虚焊，板上无锡渣	➢ 加热板（台）到达 180℃方可进行加热焊接
4	灯板拆分点亮测试	➢ 将焊接好的灯板小心拆分成单独一条。 ➢ 将拆分好的灯板用专用测试电源进行点亮测试	➢ 灯板灯珠全部能亮，无虚焊	➢ 测试电源电流、电压调节

续表

序号	步骤名称	作业内容	质量要求	注意事项
5	灯管初装	➢ 将测试过的灯板装在铝管上	➢ 铝管无严重损伤，外观良好	
6	焊接堵头	➢ 将 T8 日光灯堵头线缩短 1cm，并在线头剥线，线头剥线处上锡。 ➢ 按照灯板上正负极分别在正极处焊接贴上正极标签的堵头，负极处焊接贴上负极标签的堵头	➢ 堵头和灯板焊接处无毛刺。 ➢ 正负极标签堵头与灯板正负极相对应	
7	灯管组装	➢ 将 PC 罩和铝管组装起来。 ➢ 对堵头和灯管进行组装。 ➢ 将两堵头盖上，用螺丝刀打上螺钉	➢ 堵头和灯管要贴紧。 ➢ 堵头铜管要和铝管平行	
8	灯管测试与组装	➢ 对组装好的灯管进行点亮测试，红色鳄鱼夹线夹正极标签堵头，黑色鳄鱼夹线夹负极标签堵头	➢ 灯管能够完全点亮	➢ 注意正负极



目前市面上流通的电子线有三种，分别为 UL 标准、3C 标准、VDE 标准。UL 标准一般以 AWG 为单位，3C 标准或 VDE 标准一般以 × × 平方为单位。国内电子线生产商以 3C、UL 标准为主。

5.3 LED 日光灯认证及检验要求

5.3.1 LED 日光灯 UL 认证要求

1. LED 日光灯形状和防火要求

LED 日光灯可做成不同形状，以管形 LED 日光灯为例，其外形与普通的日光灯管一样，由日光灯管状透明聚合物外壳将电源模块和 LED 包在里面。透明聚合物外壳在产品中起到防火和防触电的功能。根据标准要求，日光灯外壳材料须达到 V-1 等级以上，因此透明聚合物外壳须采用 V-1 等级以上的材料。需注意的是，产品外壳要达到所要求的 V-1 等级，其厚度必须大于等于原材料的 V-1 等级所要求的厚度，防火等级及厚度要求可以在原材料的 UL 黄卡上查到。实际检测中发现，制造商为了保证 LED 灯的亮度，往往将透明聚合物外壳做得很薄，这就需要检测工程师注意保证材料达到防火等级所要求的厚度。不同原材料对相同的防火等级有不同的厚度要求，某些原材料在较小的厚度下就可以满足较高的防火等级要求，可以选择合适的原材料做产品外壳。

2. 跌落试验

按产品标准要求，产品要模拟实际使用过程中可能发生的跌落情形做跌落测试，产品从 0.91m 高的高度跌到硬木板上后，产品外壳不能破裂以致露出内部的危险带电件。制造商选择材料做产品外壳时，必须考虑这一强度要求。

3．抗电强度

透明外壳将电源模块包围在内部，透明外壳材料必须要达到抗电强度要求。按标准要求，基于美国工作电压 120V 的条件，内部高压带电件与外壳间（覆上金属箔进行试验）要能承受交流 1240V 的抗电强度测试。一般情况下，产品外壳厚度达到 0.8mm 左右，就符合抗电强度测试要求了。

4．电源模块

电源模块是 LED 日光灯的重要组成部分，电源模块主要采用开关电源技术。按电源模块类型的不同，可以考虑用不同的标准进行测试认证。如果电源模块是 class II 电源，则可以用 UL 1310 来测试认证。class II 电源是指采用隔离型变压器，输出电压低于直流 60V，电流小于 $150/V_{max}$ 的电源。而对非 class II 电源，则采用 UL 1012 来测试认证。这两个标准的技术要求十分类似，可相互参考。大多数 LED 灯的内部电源模块采用非隔离式电源，电源输出直流电压也大于 60V，因此不适用 UL 1310 标准，而适用 UL 1012 标准。



☺ UL 最新推出了过热保护型 LED 驱动电源（Class P LED Driver）的评估和测试准则，关注 LED 驱动电源与 LED 灯具在机械和电气方面的连接，实现不同供应商不同型号之间 LED 驱动电源的任意替换。

☺ UL 的 class II 电源是指限制电压和电流的安全低电压电源，要求质保 5 年，输出功率在 100W 以下。如果输出功率大于 100W，可以用两个以上电源或一个电源多路输出。

5．绝缘要求

由于 LED 日光灯内部空间有限，所以在结构设计时，要注意危险带电件与可触及金属件间的绝缘要求。绝缘可以是空间距离和爬电距离，也可以是绝缘片。按标准要求，危险带电件与可触及金属件的空间距离要达到 3.2mm，爬电距离要达到 6.4mm。如果距离不够，可以加绝缘片作为附加绝缘，绝缘片厚度要大于 0.71mm。如果厚度小于 0.71mm，则产品要能承受 5000V 的高压测试。



空间距离和爬电距离可以参照 UL 标准，包括 UL1598《灯具标准》和 UL8750《用于灯具产品的发光二极管光源》，UL8750 为 LED 模块、控制模块、电源提出了详细的安全要求。

6．温升测试

温升测试是产品安全测试的一个必做项目，标准对不同元件有一定的温升限制。在产品设计阶段，制造商要十分重视产品的散热问题，特别是对某些零部件（如绝缘片等）应特别注

意。部件长期在高温条件下工作易损坏，从而造成着火或触电危险。灯具内部的电源模块处于封闭狭小的空间，散热受到限制。因此，制造商进行元件选择时，要注意选择合适元件的规格，保证元件在一定的裕度下工作，从而避免元件长期在接近满载的条件下工作而产生过热。

7．结构

LED 日光灯的电源模块安装在外壳内部，空间有限，有的制造商为了节省空间，将插脚式的元件表面焊接在 PCB 上，这种做法是允许的。因为这些表面焊接的插脚式元件很可能由于虚焊等原因脱落，造成危险，因此对这些元件要尽可能采取插孔焊接方式。如果不得已采取了表面焊接方式，则应采用加胶水固定等方式提供附加保障。

8．故障测试

产品故障测试是产品认证测试中至关重要的一个测试项目。这个测试项目是在线路上短路或开路一些元件，以模拟实际使用过程中可能发生的故障，从而评估产品在单一故障条件下的安全性。为了满足这一安全要求，在产品设计时，要考虑在产品输入端加合适的熔断器，以防止输出短路或内部元件故障时发生过电流而导致着火。



- ☺ DLC（美国灯具设计联盟）在 2016 年 6 月 1 日正式发布了针对 LED 灯具、翻新套件、灯管等产品的 Technical Requirements Table V4.0 版。所有不符合 DLC V4.0 的产品从 2017 年 4 月 1 日起被下架。
- ☺ 各类产品在 DLC V4.0 光效与 DLC V3.1 光效之间对比，其光效普遍提高 20～25 lm/W。
- ☺ DLC 认证需要提交的资料有产品规格书、LM-79 报告、IES 文件、UL 报告、Option1（LM-80 报告、TM-21excel、In-situ TMP etc）、Option 2（0h 与 6000h LM-79 报告）、质保声明（至少 5 年质保）。
- ☺ 2016 年 11 月 1 日，DLC 正式公布了技术规范最新版本 V4.1，于发布当日开始生效。
- ☺ 色度指标标准 ANSI C78.377-2015《固态照明产品的色度指标》。
- ☺ 最新版 V4.1 技术规范新增 3 个产品类别，分别为户外灯类别（Very High Output）、U 型 LED 替换式灯管（适用于 Type A、Type B 或 Type C）、针脚式荧光灯 LED 替换式灯泡（仅适用于 Type A 直接兼容镇流器）。
- ☺ DOE 法规是进入北美市场的强制性认证要求。

5.3.2 LED 日光灯安规要求

目前常见的 LED 日光灯，外形尺寸上基本参照传统的 T8 荧光灯进行设计。LED 日光灯要符合双端荧光灯安全标准 GB 18774—2002《双端荧光灯 安全要求》中对灯头部分尺寸和耐热、耐火的要求，也需要满足国家灯具标准 GB 7000.1—2015《灯具 第 1 部分：一般要求与试验》标准和 GB 24819—2009《普通照明用 LED 模块 安全要求》标准中对整灯及内置 LED 驱动电源的要求。无线电骚扰特性、电流谐波、电磁兼容抗扰度满足国家标准 GB

17743—2007《电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法》、GB/T 18595—2014《一般照明用设备电磁兼容抗扰度要求》、GB 17625.1—2012《电磁兼容 限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流≤16A）》。

目前市场上的接头方式很多，有铝皮的、PC 料的及铝皮加 PC 料的，按固定方式分有用胶水固定在灯管两端的，也有用螺钉固定在灯管两管的。就安全、环保而言，用螺钉固定的方式被广泛采用。LED 日光灯灯头处螺钉主要起着灯头与灯体之间的连接与固定作用。LED 日光灯灯头处的螺钉直径小于 3mm，LED 日光灯使用铝外壳，而将螺钉直接旋入金属外壳。要注意螺钉与灯头带电金属件之间的距离，距离太近容易导致爬电距离和电气间隙不合格。可以通过套管的绝缘，达到加强绝缘级的抗电强度要求。



内部带电部件与可触及金属件之间的绝缘须满足双重绝缘或者加强绝缘要求。

LED 日光灯使用的内部接线主要考虑的是线径、绝缘厚度、机械损伤、绝缘层受热温度及绝缘。LED 日光灯内部导线的标称截面积不小于 0.4mm^2，绝缘层厚度不小于 0.5mm。可以通过套管的绝缘，达到加强绝缘级的抗电强度要求。



内部导线走线时不接触发热较大的部件，能避免产生绝缘层局部过热导致的绝缘层破损，产生漏电或者短路等安全问题。内部导线可以选择美规 AWG20。

LED 日光灯在设计 PCB 时，除了需要考虑灯头带电部件到可触及件以及不同极性带电部件之间的爬电距离和电气间隙外，还要考虑 PCB 与铝壳的爬电距离和电气间隙，也考虑铝基板耐压。LED 日光灯内部接线主要用于连接灯头连接件与内置电源的输入和输出，内置电源与铝外壳之间通过套管隔离开。LED 模块的铝基板与金属外壳直接接触，要求铝基板与金属外壳加强绝缘级的抗电强度要求。

LED 日光灯要选用隔离电源，选择使用隔离变压器，会使内置电源的输入和输出端之间能满足加强绝缘级的抗电强度要求，要求电源盒能达到 4000V 的耐压。要求隔离电源与可触及金属件之间的绝缘须满足双重绝缘或者加强绝缘。LED 日光灯电源要选择进行过相关认证的电源，如 CE 认证、UL 认证、CQC 认证。在国内，LED 日光灯进行相关的认证时，电源最好选择经过 CQC 认证的电源或有 CQC 证书的电源，实在没有相关规格的 LED 日光灯电源，可以选择达到 CQC 认证要求的电源。LED 灯管可以进行 CQC 节能认证，可以参照 CQC 3148—2014《双端 LED 灯（替换直管形荧光灯用）节能认证技术规范》及 CQC1106—2014《双端 LED 灯（替换直管形荧光灯用）安全认证技术规范》。



LED 日光灯灯头部位的绝缘材料属于防触电绝缘部件，也同时属于固定带电部件的绝缘材料。LED 日光灯灯头部位距离一定达到安全的安规距离，不会产生电弧现象。

LED 日光灯属于 II 类灯具，要求 LED 日光灯的输入到可触及件之间，以及输入到安装表面之间需要满足加强绝缘级的绝缘电阻和抗电强度要求。对于耐热和耐火试验，达到 GB 18774—2002、GB 7000.1—2015 中的要求。



（1）爬电距离是指不同电位的两个导电部件之间沿绝缘材料表面的最短距离。

（2）电气间隙是指不同电位的两个导电部件间最短的空间直线距离。

（3）爬电距离是考核绝缘在给定的工作电压和污染等级下的耐受能力，其尺寸应能保证在给定的工作电压和污染等级下绝缘不会产生闪络或漏电起痕现象。

（4）电气间隙防范的是瞬态过电压或峰值电压，其尺寸应能保证进入设备的瞬态过电压和设备内部产生的峰值电压不能使其产生电气击穿。

5.3.3 LED 日光灯的检验要求

LED 日光灯品质检查流程图如图 5-16 所示。

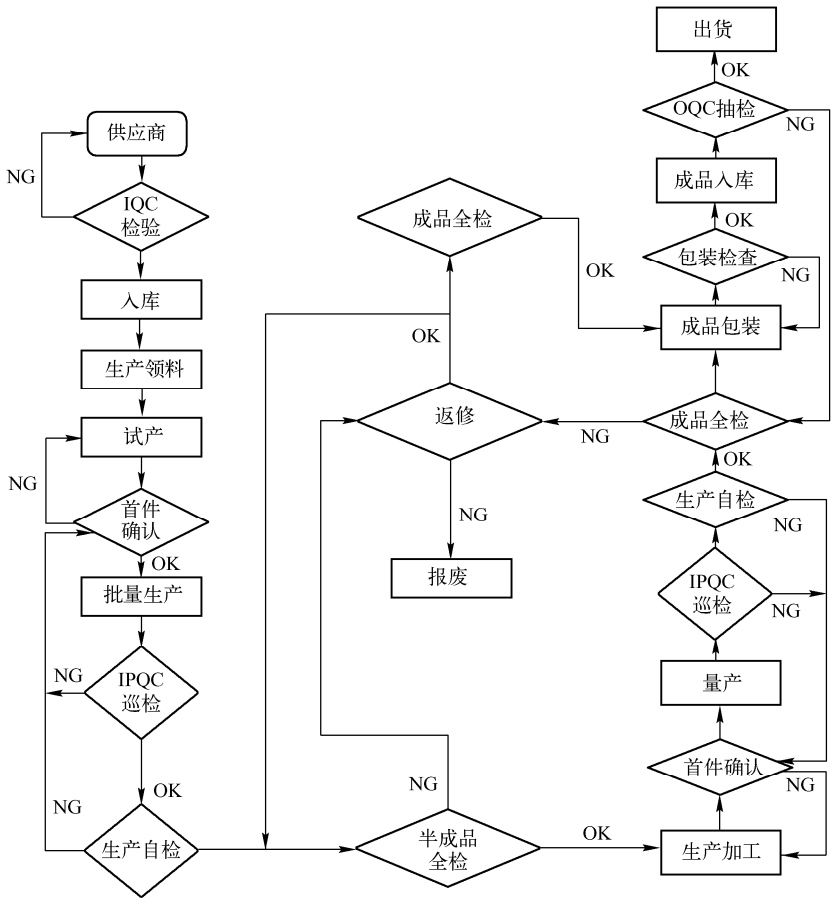


图 5-16　LED 日光灯品质检查流程图



分板机通常是指 PCB 分板机（线路板分板机），适用于分割精密 SMD 薄板、铝基线路板。有 V 槽分板机和无 V 槽分板机两种，保证切割后铝基板不变形。

LED 日光灯的检验要求如表 5-12 所示。

表 5-12　LED 日光灯的检验要求（T8 LED 日光灯）

序号	检查项目	技术要求	检查方法或工具	备　注
1	外观检查	➢ 灯珠面、PCB 灯板、铝基板干净整洁，焊点饱满、光滑，焊接部位应平整、牢固，无焊穿、虚焊、飞溅等现象。 ➢ 整体外观表面无变形、油污、碰伤、擦伤、脏污，无附着物。 ➢ G13 灯头、灯脚无歪斜、松动现象，表面光洁，无锈迹、氧化，铜针无倾斜现象。 ➢ 各紧固螺钉应拧紧，边缘应无毛刺和锐边且螺丝不得打滑。 ➢ 装配要完整、到位、无缝隙，灯头与铝管之间无胶体流出，整灯用力摇动时无松动，无异常响声。 ➢ 灯头与灯管胶水粘接要牢固，胶水干后徒手不能将灯头打开。 ➢ G13 灯头应端正地固定在灯的两端。成品灯头上的插脚应能在不被扭曲的情况下，同时顺利通过相应的灯座安装。 ➢ 所有零件均应定位安装、牢固可靠，不应有松动现象；转动件应能灵活转动、接触良好、无轴向窜动。 ➢ 整灯无变形、无磨痕、无破损、无油污。 ➢ 柔光 PC 罩外表干净、无划伤、无异色。 ➢ 正面 PC 罩不能有明显的异色、斑点及破裂现象	目视	➢ 整灯检查
2	外形尺寸（长度检查）	➢ 主要外形尺寸与灯头型号尺寸应与普通照明用直管形荧光灯安装尺寸相符，符合普通照明用直管形荧光灯灯座安装要求。 ➢ 60cm 灯管总长为 588±0.5mm。 ➢ 90cm 灯管总长为 894±0.5mm。 ➢ 120cm 灯管总长为 1198±0.5mm	卷尺	➢ 在测量灯的直径时，量具的精度不应低于 0.1mm；在测量灯的长度时量具的精度不应低于 0.2mm
3	性能要求	➢ 在标称的额定电源电压及额定频率下，正常开启并保持燃点。 ➢ 额定输入电压 220V，50Hz，启动电压范围 AC 85～265V，无温度差异、电流偏大或偏小、PF 值小、灯灭、灯微亮及灯闪等不良现象。 ➢ 在标称的额定电源电压及额定频率下工作时，其实际消耗的功率与额定功率之差不应大于 10%。 ➢ 额定输入电压 AC 220V，50Hz，启动电压范围：AC 100～240V（TUV 标准）和 AC 100～277V（UL 标准）。	调压器、功率计（智能电量测试仪）、积分球、EMC 测试仪、万用表	➢ 在 25±1℃的环境温度下，用光度分布测试系统测量。 ➢ 功率因数不应小于 0.9

续表

序号	检 查 项 目	技 术 要 求	检查方法 或工具	备　　注
3	性能要求	➢ 整灯输入功率不能超过标称功率的±10%。 ➢ 光通量、色温、显色指数、光效符合技术要求。 ➢ 电磁兼容 EMC（传导和辐射测试）达到国家标准规定要求。 ➢ 成品灯管的灯头外壳与灯头插脚之间的绝缘电阻≥20MΩ。 ➢ 在规定的工作条件下，以 30s 开和 30s 关为一个循环，通过 500 次的正常开关试验仍能够正常工作		
4	老化测试	➢ 老化过程中不能有死灯、暗灯及色差等异常现象。 ➢ 老化 12h 后灯体温升不得高于 60℃。 ➢ 开关冲击必须老化 12h，冲击 120min，冲击时间设置在开/关 15s，无死灯、灯闪或灯管不亮等现象	调压器、功率计（智能电量测试仪）、老化台（老化测试架）	
5	耐压测试	➢ 壳体与带电部件之间：3000V(4*U*+2000V)，AC 10mA/1min 灯具无击穿报警现象。 ➢ 输入对输出、输入对外壳：3000V(4*U*+2000V)，AC 10mA/1min 输出对外壳：500V/2s。 ➢ 接通电源灯能正常亮，无闪烁、无死灯、无噪声、无色差光斑现象	耐压测试仪	➢ 安规测试。 ➢ Ⅱ 类灯具，IEC60598-1—2014《灯具 第 1 部分：一般要求和试验》标准耐压测试 4*U*+2000V。 ➢ 检测产品的绝缘是否失效
6	漏电测试	➢ 漏电 0.5mA	漏电测试仪	➢ 按照 GB 7000.1—2015《灯具 第 1 部分：一般要求与试验》规定使用漏电测试仪或其他安全测试仪器对整体 LED 日光灯进行泄漏电流检查等安全试验
7	高低温测试	➢ 在−25±2℃和 45±2℃正常供电条件下，让灯工作 30min，不得有暗灯、死灯出现，灯具外观不能有变形翘曲出现。 ➢ LED 日光灯在老化房温度下以不同输入电压（AC 187V、220V、250V）分别老化 2h 和 5h 后，在 80℃高温箱内输入电压 AC 187V、250V 分别老化 2h 和 5h 后，测试试验品的主要元器件工作温度，其测试数值应符合元器件温度相关要求	高低温箱	➢ 按照 GB/T 14862—1993《半导体集成电路封装结到外壳热阻测试方法》中规定的方法测量对称中心位置 LED 的结温
8	跌落测试	➢ 质量 10kg 以下跌落高度为 80cm。 ➢ 质量 10～16kg，跌落高度为 70cm。 ➢ 质量 16～26kg，跌落高度为 50cm。 ➢ 水平自由跌落顺序为一点三棱六面共 10 次，跌落完成后，外箱无严重破损，产品无变形、碰伤、破裂，功能测试正常	跌落测试仪	
9	振动测试	➢ 加速度 2*G*，*X*、*Y*、*Z* 各振动 10min，角度 10°，不允许有暗灯、死灯出现，不允许螺钉松脱、产品破损。 ➢ 振动试验是将灯具放到振动台振动 30min，检验灯具各零部件有无松动、脱落，灯具是否能正常工作	振动测试仪	

续表

序号	检查项目	技术要求	检查方法或工具	备注
10	包装	➢ 产品标签粘贴应正确，无起翘脱落， 用一块浸泡过水和一块浸泡过汽油的布，分别轻轻擦拭标志，各持续15s，标志仍清晰明了。 ➢ 防水标签水平贴于铝槽底部左侧正中央。 ➢ 装箱单与实物符合（标识，箱内物品的数量、规格、名称）。 ➢ 产品合格证、产品说明书。 ➢ 产品附件有无（与订单/BOM表核对）。 ➢ 包装箱：材质、层数符合包装要求，不允许有破损、变形、潮湿	目视	
11	外包装要求	➢ 外箱标识清晰，唛头正确：规格型号、品名、日期、数量、环保标识、小心轻放、易碎、防水、防压标志。 ➢ 标签标示内容与产品型号要相符，标示清晰。 ➢ 无漏贴、错贴等不良现象	目视	
12	标志	➢ 型号、代号及产品标准编号。 ➢ 产品名称的全称。 ➢ 制造厂全名及商标。 ➢ 功率因数。 ➢ 工作温度。 ➢ IP防护等级。 ➢ 储存环境。 ➢ 额定电压、额定功率、额定相关色温、额定光通量、额定寿命	目视	➢ 标牌应符合GB/T 13306—2011的有关规定



（1）耐压测试时，测试者及脚下必须垫好橡胶绝缘垫，戴绝缘手套，只有在高压输出“0”复位状态下，方可进行连接或拆卸操作，以防高压电击造成损害。

（2）室内灯配光曲线测试包含室内灯具光度数据、峰值光强、灯具效率、总光通量、上射光通比、下射光通比、光效、光度数据、室内灯具配光曲线、空间等照度曲线、平均光束角等数据。

（3）T5一体化LED日光灯有30cm（4W）、60cm（8W）、90cm（12W）、100cm（14W）、120cm（16W）。

5.4 LED球泡灯的设计与组装

5.4.1 LED球泡灯简介

1．球泡灯概述

LED球泡灯是在不需要更换原传统灯具灯座和不更改线路的情况下，可以直接使用的LED照明产品。LED球泡灯采用了原有的接口方式，即螺口（E26/E27/E40等）、插口（B22）方

式，外形模仿了白炽灯泡的外形。由于 LED 单向性的发光原理，在灯具结构上必须进行更改，使得 LED 球泡灯的配光曲线基本与白炽灯的点光源性趋同。LED 球泡灯的结构基本分为光源、驱动电路和散热装置，这些部分共同配合造就了低能耗、长寿命、高光效和环保的 LED 球泡灯产品。市场上常用的 LED 球泡灯如图 5-17 所示。室内照明 LED 球泡灯主要光源的参数与替代白炽灯的要求如表 5-13 所示。LED 球泡灯属于非定向自镇流 LED 灯。



（a）圆形球泡灯



（b）半球形球泡灯





（c）3W 球泡灯



（d）7W 球泡灯

图 5-17　市场上常用的 LED 球泡灯

表 5-13　室内照明 LED 球泡灯主要光源的参数与替代白炽灯的要求

（a）非定向自镇流 LED 灯的初始光通量要求		
序号	初始光通量（lm）	替代的白炽灯的功率（W）
1	136	15
2	249	25
3	470	40
4	806	60
5	1055	75
6	1521	100
7	2452	150
8	3452	200

（b）室内照明 LED 球泡灯主要光源的参数（摘自江西省 LED 球泡灯标准）		
项　　目		参　　数
显色指数		Ra≥80
初始光效（不带面罩）（lm/W）		≥100
初始光通量（lm）		不低于额定值的 90%
色温	冷白 RL（K）	3300＜T_c≤6500
	暖白 RN（K）	T_c≤3300
3000h 光通量维持率		≥95%
6000h 光通量维持率		≥90%



（1）节能认证标准有 CQC31-465192—2011《普通照明用非定向自镇流 LED 灯节能认证规则》、CQC3130—2013《普通照明用非定向自镇流 LED 灯节能认证技术规范》。

（2）灯在立体角为π球面度（sr）内（相当于 120°锥角）有 80%以上的光输出，称为定向照明；反之为非定向照明。

（3）国家发展改革委、国家质检总局和国家认监委组织制定和修订了《中华人民共和国实行能源效率标识的产品目录（2016 年版）》及《中国能源效率标识基本样式》，于 2016 年 6 月 24 日发布。

（4）2016 年 10 月 1 日起，LED 球泡灯（2～60W）必须加贴能源效率标识才能上市销售，根据国家发展改革委发布的 CEL 034—2016《普通照明用非定向自镇流 LED 灯能源效率标识实施规则》实施。

（5）能源效率检测根据国家标准 GB 30255—2013《普通照明用非定向自镇流 LED 灯能效限定值及能效等级》、GB/T 31112—2014《普通照明用非定向自镇流 LED 灯 规格分类》及 GB/T 24908—2014《普通照明用非定向自镇流 LED 灯 性能要求》执行。

目前 LED 球泡灯的光源封装有 2835（0.2W 或 0.5W）、5630（0.5W）、5730（0.5W），也有采用面光源 COB 封装的。在设计过程中，可以根据不同的要求来选择不同的 LED，按照所需的光通量及光效来进行设计。LED 球泡灯发光的光效与电源转换效率及灯罩透光率有关。



（1）E26 一般采用 100～130V，用得比较多，如日本、美国、墨西哥等；E27 一般用于 220～240V。E26 是美标规格，E27 是欧标规格。

（2）LED 模块耐压测试电压为 AC 500V，其爬电距离需要达到 4mm。LED 模块测试电压是 AC（2*U*+1000）V，其爬电距离需要达到 6mm。

（3）目前铝基板大都是使用 M3 螺钉固定的，螺钉可导电，其爬电距离需要从螺丝帽边测算，爬电距离需要达到 6mm。LED 电气金属引脚与散热引脚布线最短爬电距离应不小于 0.5mm。

（4）目前也有企业用电子灌封硅胶将 LED 驱动电源灌封到 LED 球泡灯驱动电源外壳上，这样有助于 LED 驱动电源的散热。



目前有一种调光调色温的 LED 球泡灯，采用 2.4GHz 高频无线遥控控制，具有调光、调色温、自由分组同步控制。

LED球泡灯作为第四代照明产品，已经越来越被大众所接受，其光源的封装形式简单，分为以下几类。

☺ LED 球泡灯采用贴片式（SMD）LED 灯珠作为光源，是目前市面上主流产品之一。整灯光效可以做到 80lm/W，显色指数在 80 以上，易于实现自动化，光学角度也比较大。

☺ COB 封装技术将 LED 芯片直接固定在 PCB 上，用引线键合芯片与 PCB 技术。该技术可以提高封装功率密度，降低封装热阻。整灯光效可以做到 100lm/W 以上，显色指数维持在 85 以上。光源封装形式也不局限于平面封装，可以形成多角度、立体式的光源。

☺ 远程激发式 LED 球泡灯创新性地将 LED 荧光粉与高分子硅相结合，通过特殊工艺制成远程激发高分子模块；与大功率 LED 蓝光源结合使用或者与蓝光+红光混合光源结合使用，在全色温范围 2700 ~ 6500K，显色指数可达到 Ra≥85，可轻松实现发光角度为 270° 的全配光，在保证光效及亮度的前提下消除了眩光。

2．球泡灯产品描述

☺ 工作电压：AC 110/220V。
☺ 工作电流：280mA。
☺ 最大功率：5W。
☺ 光通量值：500 ~ 600lm。
☺ 色温范围：2700 ~ 6500K。
☺ 发光角度：120° 。
☺ 发光颜色：正白、暖白、冷白。
☺ 工作温度：–20 ~ +65℃。
☺ 产品材质：铝合金。
☺ 使用寿命：50000h。
☺ 产品尺寸：ϕ60mm×110mm。

3．球泡灯产品特性

☺ 采用高档加厚铝合金外壳，散热更加快速。
☺ 驱动采用隔离恒流输出，提供稳定的输出电流、减小衰减，保证大功率 LED 使用安全。
☺ 驱动电路具有过温保护、短路保护。长寿命设计，可靠性高。
☺ 可通过安规测试、EMI 和 EMC 测试。
☺ 采用无缩变亚克力光学透镜，其照射角度可达到 15° ~ 90° ，聚焦效果形成光柱状，其独特的光学工艺使普通透镜无法与之相比。
☺ 低耗能，LED 的使用寿命长达 3 ~ 5 万小时（根据外部使用环境而定）。
☺ 防尘、防漏电；精致小巧、安装方便。
☺ 采用 LED 光源，有红、绿、蓝、黄、正白、暖白、冷白等颜色。

4．球泡灯应用范围

适用于酒店、酒吧、西餐厅、咖啡厅、居家室内装饰、精品展示橱窗等室内情调装饰，

工艺品、珠宝首饰、古董、艺术照片图案、产品陈列等局部特写照明；可以直接替代原有的普通射灯使用，亮度更高。

5．球泡灯安装注意事项

☺ 安装前切断电源，防止触电，在工作时避免用手触摸灯的表面。
☺ 此灯应避免安装在热源处及有热蒸汽、腐蚀性气体的场所，以免影响寿命。
☺ 安装前确保安装位置可以承受 10 倍于该产品的重量。
☺ 安装于无震动、无摇摆、无火灾隐患的平坦地方。

5.4.2 LED 球泡灯的组装

组装工具和辅助材料在前面章节已介绍过，这里不再重复。本节主要介绍球泡灯的组装流程。

（1）外观检查。目测灯杯、灯罩、灯头外观有无刮伤、毛刺、裂痕、变形不良现象，取一套样品进行试装，以确认各配件的螺丝孔大小、位置是否合适。目测线路板线路、元器件极性是否标示清楚；铜箔有无鼓起；用仪表（万用表）测试电路（铝基板）是否有开路、短路等不良状况。核对 LED 发光颜色及亮度、色温等是否与所需一致，LED 灯表面有无刮伤，焊接引脚是否光亮。加负载通电确认电源标值参数与实际是否一致。3 颗铝基板固定螺钉、棕/白两根约 6cm 长的电源引线是否合适。3W 球泡灯的所有部件如图 5-18 所示。

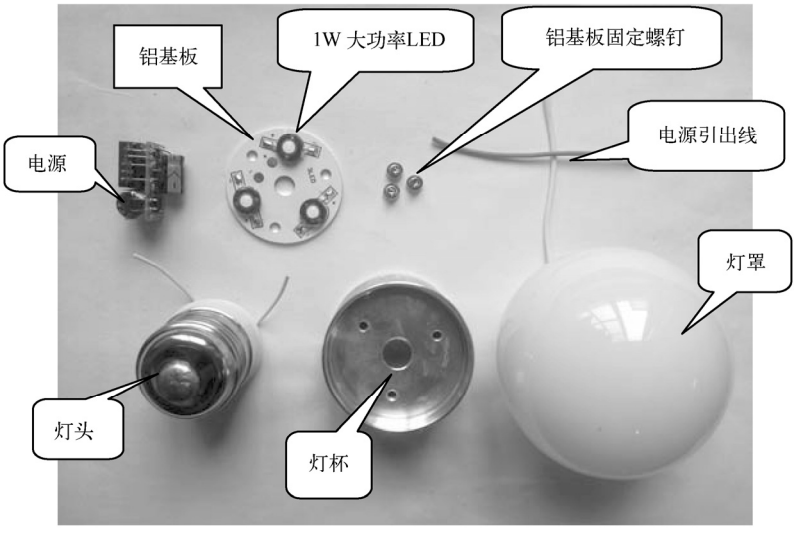


图 5-18　3W 球泡灯的所有部件

（2）铝基板上涂散热硅脂。取散热硅脂均匀涂在铝基板标示的 LED 灯封装的中心圆上，如图 5-19 所示。

（3）焊接 LED。3PCS LED 灯按正负极与铝基板上所标示的“+/–”位置进行焊接。在

铝基板的其中一个极性上锡，将 LED 同极性端与预先上好焊锡端进行焊接，再将 LED 的另一端焊接在铝基板 LED 封装的另一个引脚上，如图 5-20 所示。

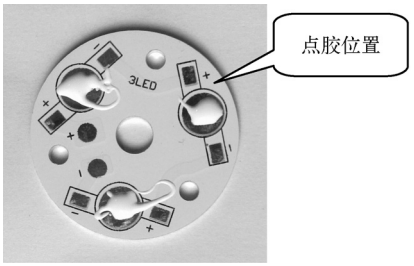


图 5-19　涂散热硅脂的铝基板

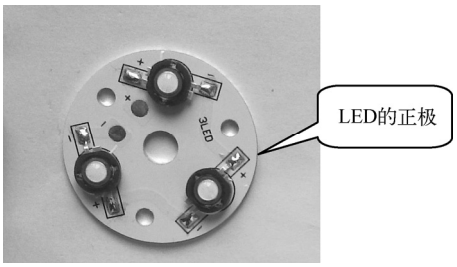


图 5-20　焊接 LED 的铝基板



要求焊点饱满，没有虚焊、假焊、短路的现象，LED 焊接位置正确；焊接时必须配戴防静电环。

（4）焊接电源输入/输出引线。将灯头的引出线与电源输入端焊接好，在电源输出端用棕/白两根电源引线按“+/–”极焊接，如图 5-21 所示。

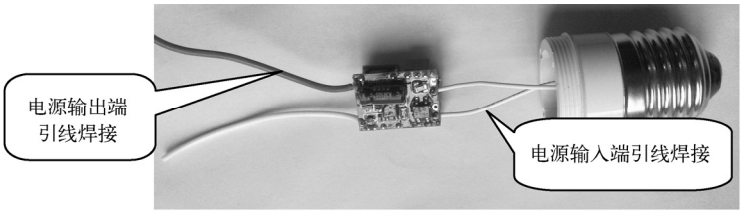
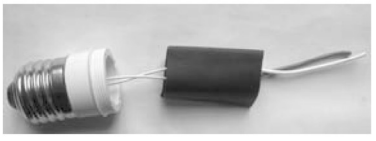


图 5-21　焊接电源输入/输出引线

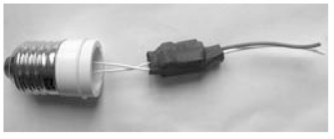
（5）电源套热缩管并加热收缩。用ϕ20mm 热缩管套好电源，用热风枪加热使之缩紧。热缩管的长度一定要超过电源长度 1～2cm，如图 5-22 所示。



（a）热缩管



（b）套好热缩管的电源



（c）缩紧热缩管的电源

图 5-22　电源的处理过程

（6）固定灯头。在灯杯螺纹处打上少量 189 胶或硅橡胶 704，将灯头顺着已打 189 胶或硅橡胶 704 的灯杯螺纹拧紧，如图 5-23 所示。

（7）在灯杯上打散热硅脂。在灯杯的平面均匀打上散热硅脂，如图 5-24 所示。



图 5-23　固定灯头

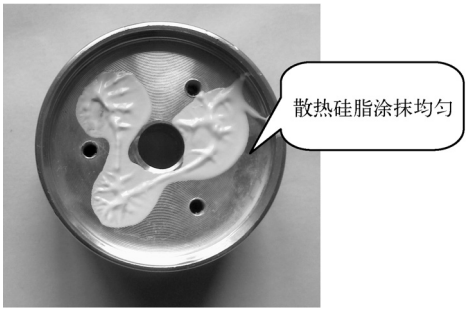


图 5-24　在灯杯上打散热硅脂

（8）固定灯板焊接电源输出引线。将线路板固定在灯杯的底板上面，用 3 颗螺钉固定铝基板，电源输出引线从线路板中心孔穿出，如图 5-25 所示。

（9）焊接电源输出线。在线路板焊接点上按正负极性焊接电源输出引线，如图 5-26 所示。

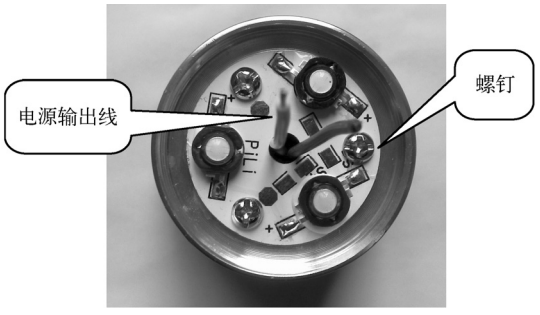


图 5-25　固定灯板



图 5-26　焊接电源输出引线

（10）安装与固定灯罩。在灯杯螺纹处打上少量 189 胶或硅橡胶 704，将灯罩顺着已打 189 胶或硅橡胶 704 的灯杯螺纹拧紧，如图 5-27 所示。

（11）通电检验。外接交流 220V 点亮成品灯。点亮后亮度和色泽均匀为合格，否则对 LED 灯、电源引线及电源进行检查修理，如图 5-28 所示。



图 5-27　安装与固定灯罩

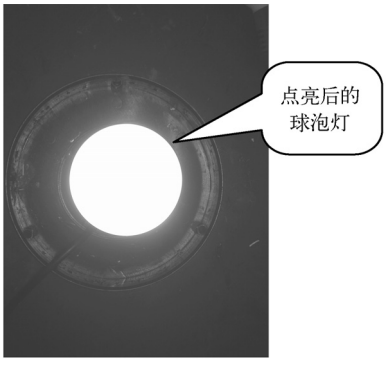


图 5-28　通电检验

（12）打灯头。用打灯头机打 E27 灯头，固定 E27 灯头。

（13）全检。检验灯头、灯罩结合是否牢固；外观有无残缺。确保成品表面干净，无异物。至此，本节就系统介绍完了球泡灯的组装。

5.4.3 LED 球泡灯的检验要求

LED 球泡灯的检验要求如表 5-14 所示。

表 5-14 LED 球泡灯的检验要求

序号	检验项目	标 准 内 容	检验方法或设备	备 注
1	外观	➢ 组装状态良好，各配件衔接可靠、牢固，无漏装或错装，无批锋、利边、利角，毛刺不划手；所有金属件无锈蚀。 ➢ LED 球泡灯边缘不得出现溢胶或黏性物体。 ➢ PC 罩表面无污染、无变形、无破损，不允许有色差。 ➢ 灯具内电源牢固无晃动。 ➢ 灯头不能出现变形、破损、氧化等现象。 ➢ 灯头冲孔错位、冲孔数量不符，没有达到要求的 8 孔（针）或 12 孔。 ➢ 塑料灯头座、铝灯座和 PC 罩等颜色符合设计要求，不能有明显色差。 ➢ 焊接部位应平整、牢固，无焊穿、虚焊、飞溅等	目测、点径规	➢ 不允许 LOGO 缺字、断画。丝印、刻字以可清晰识读为准。 ➢ 塑胶灯座表面无大于 ϕ0.3mm 的杂点、料花
2	结构	➢ 球泡灯符合外形尺寸图要求，不能超出公差范围	游标卡尺	
3	一般检验	➢ 色温、光通量、显色指数、电压、功率、功率因数是否符合要求。 ➢ 功率：在额定电压和额定频率下，其实际消耗的功率。 ➢ 功率因数：实测功率不大于 5W，最低功率因数不小于 0.5；实测功率不小于 25W，功率因数应不低于 0.9。 ➢ 显色指数 Ra 的初始值应不低于 85。 ➢ 实测功率不大于 5W，电源效率不小于 70%；实测功率大于 5W，电源效率不小于 80%。 ➢ 灯头抗扭力矩为 3N • m，试验后不发生灯头松动等问题。 ➢ PC 罩内和表面不能有黑点、杂点、灰尘、手印或杂物。 ➢ 铝灯座表面光洁，可视面不能有大于ϕ0.3mm 的刮伤、凹坑	积分球、功率计、扭力仪、塞规	➢ 与实际功率之差不得大于 10%或±1W。 ➢ 灯头、塑胶座、铝灯座之间装配到位，用 0.2mm 塞规条不能有可塞入的间隙
4	功能测试	➢ 灯体漏电、电源爆炸。 ➢ LED 无闪烁、暗光、不亮、暗斑，亮度一致无色差。 ➢ 用 90V、100V、120V、180V、220V、240V、265V 电压通电点亮测试，不能出现射灯不亮或灯亮后有故障熄灭；点亮工作时，不得出现启辉时间不同步现象（批量测试）。 ➢ 点亮后电源无异响、噪声等现象。 ➢ 常温常压下，启动时间需不大于 1s。 ➢ 断电后有明显放电现象不接受。 ➢ 在正常环境下工作时，铝基电路板温度不得超过 55℃。 ➢ 球泡灯放入光谱分析仪内用额定电压点亮，稳定 5min 测试其光通量、色温、显色指数在设计要求范围内。 ➢ 接地电阻应小于 0.5Ω、美规 0.1Ω 或者按国家地区具体安规要求执行。 ➢ 泄漏电流交流应小于 0.5mA，直流应小于 1mA 或者按国家地区具体安规要求执行。 ➢ 按技术要求相应频率、电压、电流、测试时间测试无击穿现象，AC 3kV/5mA/60s	耐压测试仪、漏电测试仪、接地电阻测试仪、积分球	➢ 球泡灯移印内容及 LOGO 符合图纸要求，不能有遗漏或字体不完整导致不能识读。 ➢ 依据客户产品规格书要求，但不小于：AC 1500V/5mA/60s。 ➢ 用一蘸有水的布反复擦拭标志 15s，待其干后，再用一块蘸有乙烷的布擦拭标志 15s，试验之后，标志仍然清晰

续表

序号	检验项目	标 准 内 容	检验方法或设备	备　注
5	可靠性测试	➢ LED 球泡灯在工作状态下，从室温上升至最高环境温度±2℃，停留 8h 以后，降温至最低环境温度±2℃，停留 8h 以后，再升温至室温，此为一个循环，重复两次，升/降稳定速度为 0.5～1℃/min。 ➢ 对称中心位置 LED 的结温不超过 70℃		➢ 正常工作电压下点亮，不得有色差、暗灯、死灯、死组、灯闪等不良现象
6	电磁兼容性	➢ 输入电流谐波按照 GB 17625.1 的规定进行试验。 ➢ 无线电骚扰特性应按 GB 17743 的规定进行试验。 ➢ 电磁兼容抗扰度应按 GB/T 18595 的规定进行试验		
7	包装	➢ 内盒标贴正确，不能有印字错漏。 ➢ 内盒四棱要清，扣舌到位，不能有彩盒开裂、开胶或缺破。 ➢ 内外箱唛头正确、印字清楚，不能有模糊不清、少油或少笔现象。 ➢ 包装盒棱边不能有毛刺、批锋、锐角。 ➢ 纸盒无褶皱、开裂、变形、脏污、受潮等现象。 ➢ 包装盒上要有物料标签，标签上应标注名称、品名、规格（包括电压、显色指数、功率、光通量、色温）、型号、日期、数量六项基本要求。 ➢ 包装盒内应附有产品合格证。合格证上应标明：制造厂名称或注册商标、检验日期、检验员签章	目测	

5.5 LED 节能灯杯的设计与组装

本节主要介绍小功率 LED 灯杯，其接口有 MR16、E27、GU10、JDRE27、JDRE14 等，LED 的数量有 12、15、18、21 和 38 颗等；光源有直径 5mm 或 3mm 的白光、红光、蓝光、绿光、黄光等。小功率 LED 灯杯广泛应用于商店展示、橱窗、博物馆、办公室、阅览室、酒吧等。

5.5.1 LED 财神灯的设计与组装

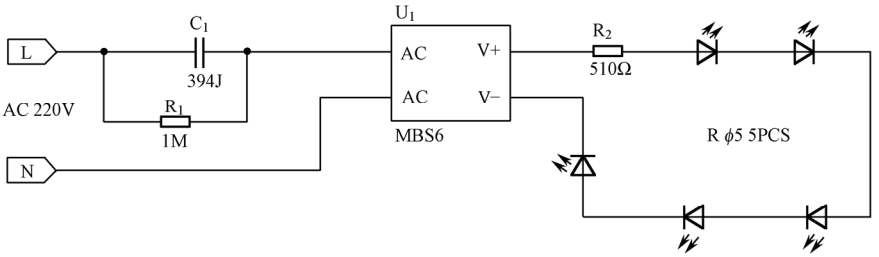
财神灯主要应用于神龛、佛堂、寺庙等。

1．财神灯技术参数

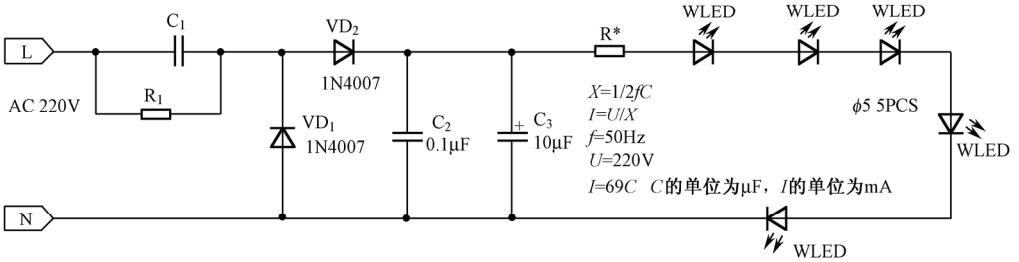
☺ 灯头：E12。
☺ 工作电压：AC 220V。
☺ 功率：0.5W。
☺ 发光颜色：红。
☺ 材质：塑胶泡壳+铜壳。
☺ LED 数量：5 颗。
☺ 光通量：＞25lm。

2．财神灯的电路设计

财神灯的电路设计主要是电源的设计，如图 5-29（a）所示。财神灯电源采用电容降压，电容降压的工作原理是，利用电容在一定的交流信号频率下产生的容抗来限制最大工作电流。



（a）财神灯的电路原理图



（b）电容降压应用电路原理图

注：图中电阻功率都为1/4W。

图 5-29　财神灯电路原理图

例如，在 50Hz 的工频条件下，一个 1μF 的电容所产生的容抗约为 3180Ω。若 220V 的交流电压加在电容器的两端，则流过电容的最大电流约为 70mA。但在电容器上并不产生功耗，因为如果电容是一个理想电容，则流过电容的电流为虚部电流，它所做的功为无功功率。根据这个特点，如果在一个 1μF 的电容器上再串联一个阻性元件，则阻性元件两端所得到的电压和它所产生的功耗完全取决于该阻性元件的特性。例如，将一个 110V/8W 的灯泡与一个 1μF 的电容串联，接到 220V/50Hz 的交流电压上，灯泡被点亮，发出正常的亮度而不会被烧毁。因为 110V/8W 的灯泡所需电流为 8W/110V=72mA，它与 1μF 电容所产生的限流特性相吻合。同理，也可以将 5W/65V 的灯泡与 1μF 的电容串联接到 220V/50Hz 的交流电上，灯泡同样会被点亮，而不会被烧毁。因为 5W/65V 的灯泡的工作电流也约为 70mA。因此，电容降压实际上是利用容抗限流，而电容器起到一个限制电流和动态分配电容器、负载两端电压的作用。

将交流电转换为低压直流电的常规方法是采用变压器降压后再整流滤波，若受体积和成本等因素的限制，则最简单实用的方法就是采用电容降压式电源。



☺ 根据负载的电流大小和交流电的工作频率选取适当的电容，而不是依据负载的电压和功率。

☺ 限流电容必须采用无极性电容，绝对不能采用电解电容。而且电容的耐压必须在400V 以上（最小为 400V）。最理想的电容为铁壳油浸电容。
☺ 电容降压不能用于大功率条件，不适合动态负载，也不适合容性和感性负载。
☺ 直流工作时，尽量采用半波整流。不建议采用桥式整流，而且要满足恒定负载的条件。

电路设计时，应先测定负载电流的准确值，如表 5-15 所示。然后选择降压电容器的容量，如表 5-16 所示。电容降压应用电路原理图如图 5-29（b）所示。因为通过降压电容 C_1 向负载提供电流 I_o，实际上是流过 C_1 的充放电电流 I_C。C_1 容量越大，容抗 X_C 越小，则流经 C_1 的充放电电流越大。当负载电流 I_o 小于 C_1 的充放电电流时，多余的电流就会流过稳压管。若稳压管的最大允许电流 $I_{dmax}<I_C-I_o$，则易造成稳压管烧毁。为保证 C_1 可靠工作，其耐压选择应大于两倍的电源电压。泄放电阻 R_1 的选择必须保证在要求的时间内泄放掉 C_1 上的电荷。

表 5-15　测定负载电流的准确值

电容（μF）		0.047	0.1	0.22	0.47	1	2.2	4.7
电流（mA）	理论值	3.2	6.9	15.2	32.4	69	152	324
	实测值	3.3	7.0	15	32.5	70	152	325

表 5-16　C_1、R_1 的取值

C_1（μF）	0.47	0.68	1	1.5	2
R_1	1MΩ	750kΩ	510kΩ	360kΩ	200～300kΩ

3．财神灯的组装

（1）外观检查。财神灯所有配件如图 5-30 所示。

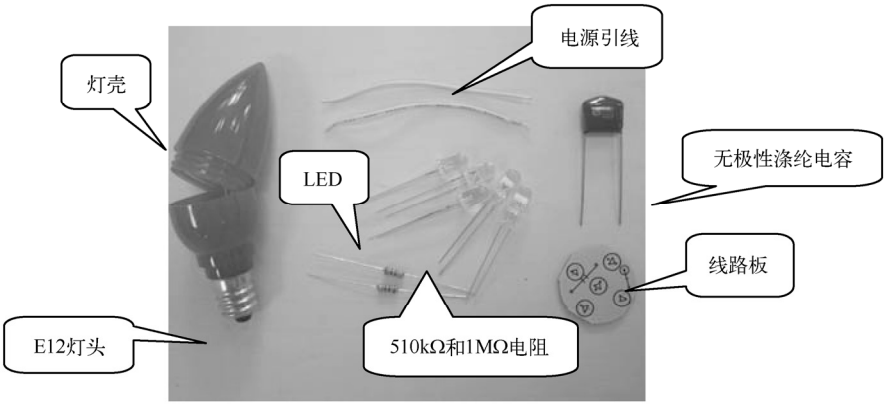


图 5-30　财神灯所有配件

① 灯壳、E12 灯头：目测外观有无刮伤、毛刺、裂痕、变形等不良现象，取一套样品

试装，以确认尺寸是否合适。

② 线路板：目测线路板、元器件极性是否标示清楚，铜箔有无鼓起，用仪器仪表测试线路板是否有开路、短路等不良状况。

③ LED：核对发光颜色及亮度是否与所需一致，LED 灯表面有无刮伤，焊接引脚是否光亮。

④ 无极性电容（涤纶电容）、电阻、桥堆：目测标称参数与尺寸大小是否一致，桥堆需判断极性和输入/输出端。

⑤ 电源引线：两根约 6cm 长的电源引线（26AWG）。

（2）插件。把线路板按 4 块为一组进行插件。注意本线路板上 LED 标示极性与实际焊接 LED 极性相反，LED“+”极插入线路板上标“−”极的孔中；“−”极插入线路板上标“+”极的孔中。插件数量：LED 灯 5PCS 每块线路板；510kΩ电阻 1PCS 每块线路板，如图 5-31 所示。

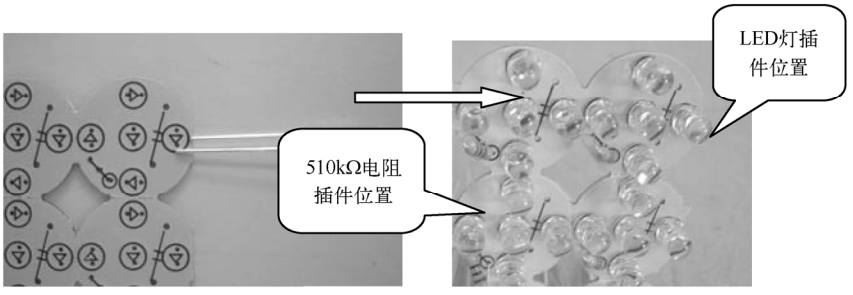
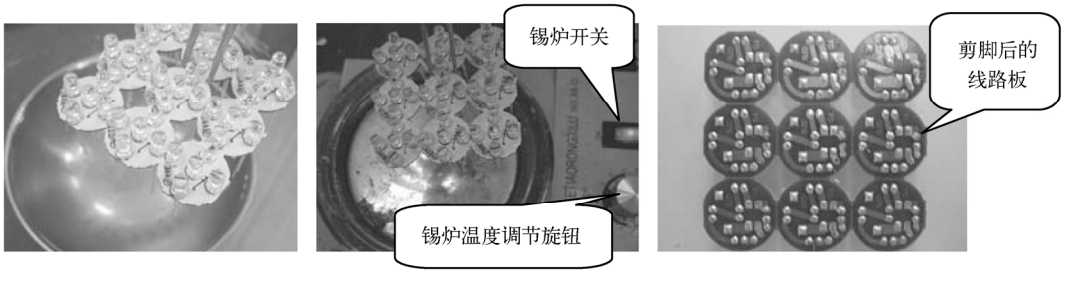


图 5-31　插件

（3）浸焊、补焊及剪脚。如图 5-32 所示，刚刚开始使用锡炉时将温度旋钮调到最高，待锡炉中的锡全部熔化后，把锡炉温度旋钮调至 180±5℃。用夹具夹住线路板进行浸焊，只需将元件浸入到 PCB 边缘。检查浸焊状况，如有漏焊或焊接不完全的则用电烙铁进行补焊。剪脚高度比线路板高出 2～3mm。



（a）线路板浸松香水　　（b）浸焊　　（c）补焊及剪脚

图 5-32　浸焊、补焊及剪脚

（4）焊接桥堆、电容、电阻。在线路板焊接面标示位置对桥堆、无极性涤纶电容和 1MΩ电阻进行焊接，各元器件的位置如图 5-33 所示。

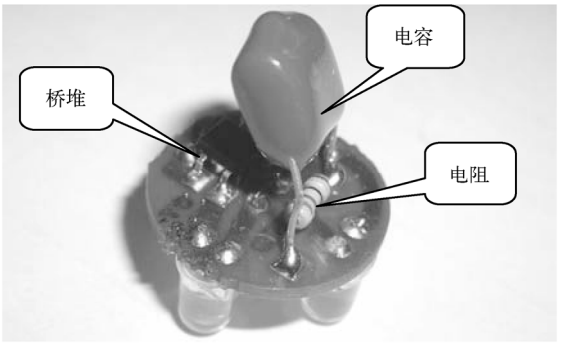


图 5-33　各元器件的位置

（5）焊接 E12 灯头、引出电源线。用 6cm 的两条电源引线分别焊到灯头的外侧边缘及内部顶端，如图 5-34 所示。

（6）打 E12 灯头。用打灯头机打 E12 灯头，固定 E12 灯头，如图 5-35 所示。

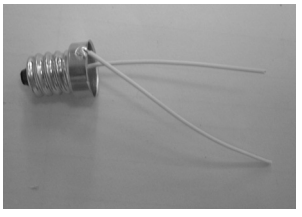


图 5-34　焊接 E12 灯头、引出电源线

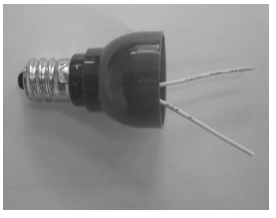


图 5-35　打 E12 灯头

（7）连接电源线至 PCB。将两根从灯头引出的电源线分别焊接到线路板桥堆输入端和电容输入端位置上，如图 5-36 所示。

（8）拧紧灯壳。在财神灯灯壳接口处内侧打上胶，并拧紧固定，如图 5-37 所示。

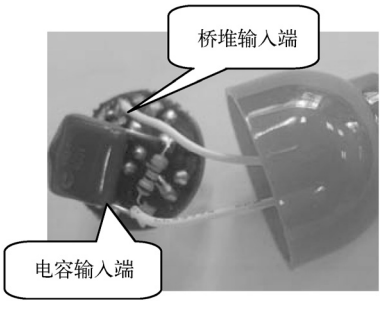


图 5-36　连接电源线至 PCB



图 5-37　拧紧灯壳

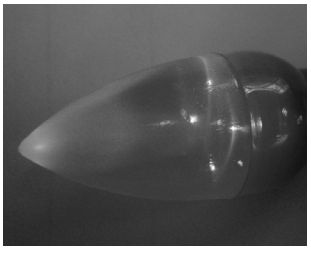


图 5-38　点亮测试

（9）点亮测试。外接交流 220V 电源进行点亮。点亮后亮度和色泽均匀为合格，否则需对各元件进行检查修理，如图 5-38 所示。

（10）全检。检查灯头、灯壳结合是否牢固，灯壳有无刮伤、变形，点亮发光亮度和色泽是否均匀。

（11）贴标签。标签内容：“AC 220V 0.025A”。

5.5.2 LED 节能灯的设计

目前白色 LED 发光效率已经突破 120lm/W，是白炽灯（15lm/W）的 8 倍，是荧光灯（50lm/W）的 2 倍多。LED 的光谱中没有紫外线和红外线成分，所以不会发热，不会产生有害辐射。而且 LED 的光通量半衰期大于 5 万小时，可以正常使用 20 年，器件寿命一般都在 10 万小时以上，是荧光灯寿命的 10 倍，是白炽灯的 100 倍，所以基本不会损坏，这种灯具具有非常好的节能、长寿命特性。随着白色 LED 价格的不断降低，LED 照明灯不但在节日彩灯装饰中广泛应用，而且逐步延伸到路面照明、民用照明等低照度要求的领域，全面进入实用化，并且其废弃物可以回收，没有荧光灯的污染问题，是国家重点发展的产业项目。

1．24 颗 LED 交流白色节能灯

LED 节能灯采用 24 颗高效白色发光二极管串联后，通过典型的交流电容降压恒流电路供电。24 颗白色 LED 交流节能灯的电路图如图 5-39 所示。将 24 颗 LED 全部串联，这样灯的功耗降低到 3W 左右，从而更加节能。整个电路分成电源板和 LED 灯板两块。

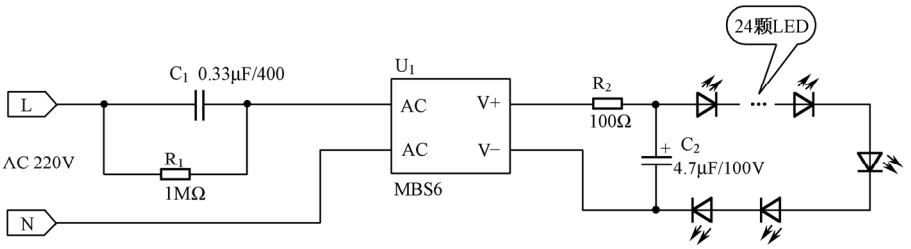


图 5-39　24 颗白色 LED 交流节能灯的电路图

1）制作注意事项　通电之前要多次核对无误之后才能通电试验，通电试验过程中要注意人身安全，谨防触电。测量时要注意安全，因整个电路板和交流市电没有隔离，触碰板上零件有触电危险。

2）常见故障　LED 数量达 24 颗，而且全部是串联，只要其中一颗 LED 损坏或者 LED 引脚与 PCB 焊接不良就会造成全部不亮，因而在焊接 LED 时务必认真仔细。

排查故障的方法如下：用万用表直流 250V 电压挡测量每颗 LED 两端的电压，如果发现某个 LED 两端的电压异常大，说明开路点就在附近（如 LED 装反、LED 管芯开路、LED 焊盘齐根处 PCB 短路、LED 虚焊等）。最有效的办法就是用直流电压试通电点亮 LED 测试，先彻底断开交流电源，然后用 10V 左右的直流电压，4 颗 LED 串联后通电测试，可快速判断故障。

3）装配错误

☺ LED 引脚和 PCB 接触不良。

☺ LED 插反极性。

☺ LED 焊接时间过长而损坏。

☺ 电阻或者其他元件接错。

2．64 颗 LED 交流白色节能灯

采用 64 颗高亮度白色散光型 LED 制作的 220V 交流节能灯，其电路原理图如图 5-40 所示。灯杯直径 76mm、高 65mm，比前面 24 颗 LED 的亮度提高很多。24 颗 LED 的亮度一般适合于走廊、小夜灯等低照度的场合，64 颗 LED 适合于卫生间、车库、储藏室、走廊等场合。

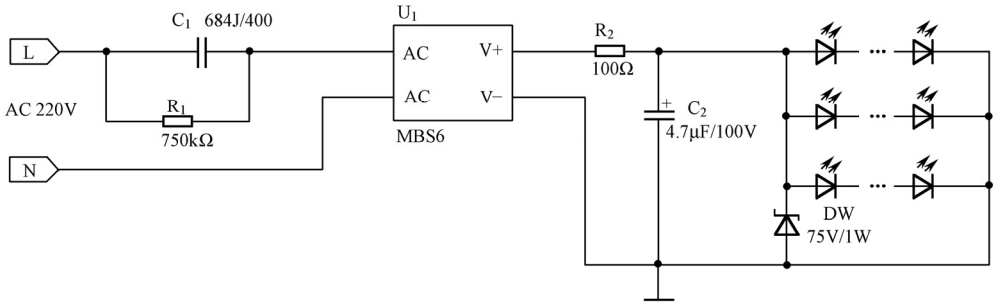


图 5-40　64 颗 LED 交流白色节能灯电路原理图

焊接整流桥和 4.7μF/100V 的滤波电容时，注意极性，不要搞错。应仔细多次核对，确认无误之后通电试验，同时要注意人身安全，谨防触电。

本电路属于典型的电容降压恒流电路，所以在未接通负载（LED 灯）时不能通电，否则会损坏稳压管等器件。焊接完成后必须用热溶胶等固定电路板和连线，防止短路和断线。

3．高电压、小电流非隔离电源

高电压、小电流非隔离电源主要适用于帕灯或者球泡灯驱动。全面替代 3～5W 功率阻容降压电路，输出电流为 60mA 或 90mA，LED 的连接方式为全部串联，LED 的个数为 12～30 个串联。具有输入线性调整率高（电流波动±3%）、输出电压负载宽（40～90V 自动适应）、转换效率高（90%）、过 EMC 认证、体积小的优势。现行隔离电源的电路效率为 70%～73%，在提高 17%的转换效率的同时，传导和辐射余量 7dB 以上（EMC/EMI/EMF），将大大增强产品的竞争力，符合 GB/T 24825—2009 国家一级能耗标准。



使用非隔离电源时，要做好灯具的绝缘处理，尤其是要确认铝基板的绝缘强度，避免因铝基板绝缘强度不够导致灯具外壳带电。建议使用塑胶、陶瓷或玻璃外壳。

5.6 LED 植物生长灯的设计

LED 植物生长灯是植物灯的一种，是以发光二极管（LED）为光源，依照植物生长规律，用灯光代替太阳光以营造植物生长发育环境的一种灯具。LED 植物灯有助于缩短植物的生长周期，光源主要由红、蓝光源组成，采用植物最敏感的光波段，红光波长使用 620～630nm 和 640～660nm，蓝光波长使用 450～460nm 和 460～470nm。这些光源都可以让植物产生最佳的光合作用，使植物得到最佳的生长状态。LED 植物生长灯的功率有 7W、12W、20W、25W、48W、96W、144W、288W 等，LED 植物生长灯的外形如图 5-41 所示。

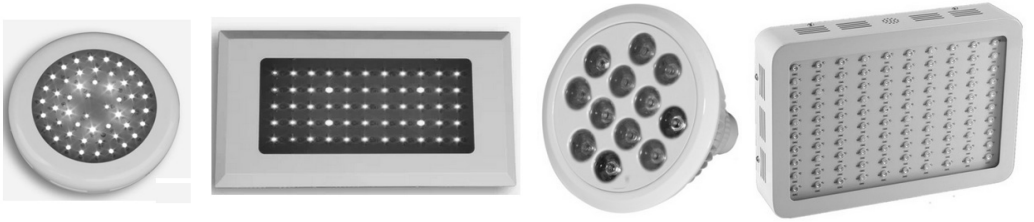


图 5-41 LED 植物生长灯的外形

1．LED 植物生长灯的工作原理

植物都需要阳光的照射才能生长得更加茂盛。光对植物生长的作用是促进植物叶绿素吸收二氧化碳和水等养分，合成碳水化合物。为了让植物在没有太阳的地方更好地生长，人为地创造光源也同样可以让植物完成光合过程。现代科学发现蓝光和红光可以产生十分接近植物光合作用的效率曲线，是植物生长的最佳光源。LED 植物生长灯不同波长的光线对于植物光合作用的影响是不同的，蓝光促进绿叶生长，红光有助于开花结果和延长花期。

2．LED 植物生长灯的应用

LED 植物生长灯适合于植物的任何生长时期，并且对水溶液培养或土栽培有效，适用于室内花园、盆栽、花园、播种、繁育、农场、喷栽、大棚养殖、水溶养殖、花卉养殖、温室养殖、管道式栽培等。

常用红光波长为 630～660nm，蓝光波长为 440～470nm，红光促进植物发芽、开花、结果，蓝光促进植物生长、长根、长叶子。

绿色植物吸收光是 600～700nm 红橙光及 400～500nm 蓝紫光，500～600nm 绿色光有微量吸收。蓝光主要用于作物栽培，是作物正常生长的必需光。绿光与红蓝光可以调节适应植物的生长发育。

3．LED 植物生长灯的设计

LED 植物生长灯可以提供植物所需的光线，比较理想的情况是使用蓝色（470nm）和红色（630nm）LED 两种颜色组合，在视觉效果上，红蓝组合的植物灯呈现粉红色。LED 植物灯的红蓝 LED 比例一般在 4∶1～9∶1 之间为宜，通常可选 6∶1～9∶1。12W LED 植物生长灯的参数如表 5-17 所示。

表 5-17　12W LED 植物生长灯的参数

产品名称	12W 植物灯	工作电压	AC 85～264V
LED 类型	植物灯	外形尺寸	120mm×120mm
外形尺寸	120mm×120mm	LED 颜色	红/蓝
颜色波长	红光 620～630nm，蓝光 460～470nm	产品认证	CE、RoHS
常用比例	①红 8 蓝 4、红 10 蓝 2、红 2 蓝 10。②常用的是红 9 蓝 3		



（1）常规比例是红：蓝为 8∶1、7∶2 和 4∶1 等，红、蓝、橙、白、黄混合光提供给植物。红：蓝比 7∶1、8∶1、9∶1 适合开花结果类植物补光，红：蓝比 5∶1、6∶1 适合生长周期都要补光的植物，红：蓝比 3∶1、4∶1、5∶1 适合观赏类或叶类蔬菜植物补光。

（2）700mA 电流是 3W LED 的最佳驱动电流，过大或过小的电流都不能让 3W LED 芯片发挥最佳的性能。

（3）用 LED 植物生长灯给植物补光时，一般距离叶片的高度在 0.5～1m 左右。

（4）T8 LED 植物生长灯的比例有红灯 144 颗：蓝灯 24 颗、红灯 132 颗：蓝灯 36 颗、红灯 120 颗：蓝灯 48 颗。

（5）LED 植物生长灯有不同比例方案，红光促进开花结果，蓝光促进长叶子，客户可以根据不同植物采用不同灯珠配比。

（6）LED 植物生长灯由两路开关控制，实现植物不同生长阶段对光的需求。一路控制蓝光，促进植物生长发育，一路控制红光，促进植物开花结果。

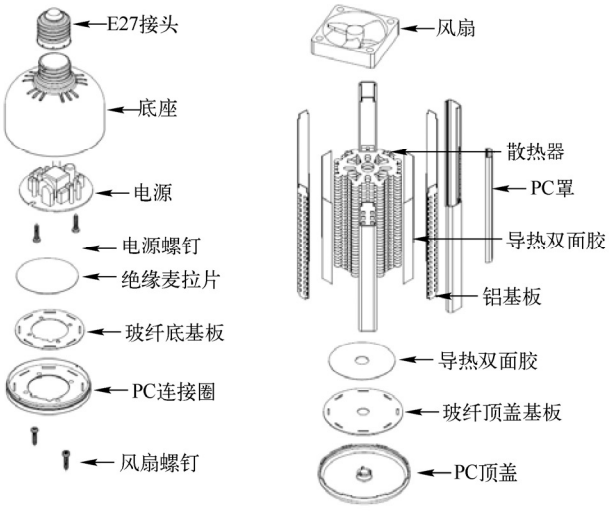
5.7　LED 玉米灯的设计与组装

LED 玉米灯是 LED 照明灯具的一种，LED 最大发光角度为 120°，为了发光均匀，将 LED 灯具设计成 360°发光，其形状如同玉米棒，所以称为 LED 玉米灯。LED 玉米灯适用于所有家居、宾馆、学校、医院、工厂、高顶棚等的室内照明。一般 LED 玉米灯会采用铝材灯体和塑胶灯座。铝不但外观漂亮光滑，无粗糙感，而且散热性能好。LED 玉米灯的外形如图 5-42（a）所示。

东莞市蓝一和金属制品有限公司生产的 LED 玉米灯装配图如图 5-42（b）所示。LED 玉米灯采用鳍片加风扇，实现散热的效果。



（a）LED玉米灯的外形



（b）LED玉米灯的装配图

图 5-42　LED 玉米灯的外形及装配图

LED 玉米灯灯头规格有 E27 螺口、G24/23 灯头，LED 玉米灯采用 PBT 阻燃耐高温塑料灯座、全铝 5 面散热器、5 面、底部采用透明 PC、高导热铝基板。LED 玉米灯光源有 SMD2835、SMD5050、SMD5630 白光 LED，为内置式电源，即置于灯体内自镇流式电源。LED 玉米灯适合于更换老式 3U 节能灯及庭院灯、景观灯等。

LED 玉米灯组装流程如表 5-18 所示。LED 玉米灯色温分为 2700K（白炽灯色）、3000K（暖白色）、3500K（白色）、4000K（冷白色）、5000K（中性白色）和 6500K（日光色）等，LED 玉米灯光通量与白炽灯规格对应的额定光通量的对应关系，可以参照表 5-13（a）。

表 5-18　LED 玉米灯组装流程

序号	步骤名称	材　料	工　具	工艺要求	备　注
1	刮锡膏	钢网、铝基板、低温锡膏	刮刀	➢ 将铝基板平放在刮锡膏台面上。 ➢ 把钢网放在铝基板上边，且钢网的每一个孔要和铝基板上的焊盘一一对应。 ➢ 用刮刀把锡膏均匀地刮进钢网的孔里，刮刀与钢网成 45° 角	➢ 作业过程中铝基板不能折弯，要保持平整、干净。 ➢ 不能擦掉刮好锡膏的铝基板
2	贴灯珠	铝基板、LED 灯珠	镊子	➢ 贴灯珠时注意极性，切勿贴反。 ➢ 贴灯珠时应按压灯珠，使灯珠散热面与铝基板接触良好。 ➢ 检验灯珠是否完整。操作人员必须佩戴防静电手环	➢ 检查外观和尺寸是否符合图纸要求。 ➢ 贴灯珠时注意正负极。 ➢ 灯珠贴上不能用手指或尖锐的物体去压

续表

序号	步骤名称	材料	工具	工艺要求	备注
3	焊灯珠	LED灯板	加热台	➢ 将贴好灯珠的铝基板放在加热平台上面加热。 ➢ 焊点光滑，无虚焊现象	➢ 加热平台的温度一般为180℃
4	安装主散热器灯板及PC罩	LED灯板、连接板、主散热器、双面导热胶	电烙铁、直流电源	➢ 在主散热器卡槽位置贴双面导热胶。 ➢ 在主散热器的卡槽位置贴双面导热胶时贴好灯板。 ➢ 焊好灯珠的LED灯板按顺序先放进散热器外壳内。 ➢ 安装PC罩	➢ 要确保烙铁接地及烙铁温度在350±10℃。 ➢ 不能出现短路现象
5	焊接前盖（顶盖）灯板并测试	LED灯板、电子线、端盖	电烙铁、直流电源	➢ 将焊好的LED灯板（顶盖）焊上连接线。 ➢ 焊线时注意焊好锡点不能跟其他焊点短路	➢ 要确保烙铁接地及烙铁温度在350±10℃。 ➢ 调节直流电源的输出电压，检查LED灯有没有不亮、色温等不正常
6	固定前散热器及灯板	LED灯板、前散热器、固定螺钉、双面导热胶		➢ 双面导热胶以能覆盖LED灯板散热面为准。 ➢ 固定端盖要到位，与主散热器接触良好	➢ 检查外壳外观是否正常，有没有划伤、脱油漆、砂眼、变形等现象
7	固定风扇			➢ 固定风扇要到位并无螺丝打滑现象	
8	装PC连接圈及连接板	PC连接圈、连接板		➢ 灯板的正极焊在连接板上的“LED+”，灯板的负极焊在连接板上的“LED−”。 ➢ 将灯板输出端与连接板焊接。所有灯板与连接板焊接完成后，通电检测	
9	穿螺口塑件连接件（底座）、焊接恒流源（电源）	恒流源（电源）、螺口塑件连接件	电烙铁、焊锡丝	➢ 电源输出线从螺口塑件连接件穿过。 ➢ 极性正确、焊点光滑、无虚焊现象。 ➢ 将电源固定在螺口塑件连接件（底座），并无螺丝打滑现象	➢ 保持台面的干净整洁。 ➢ 要确保烙铁接地及烙铁温度在350±10℃。 ➢ 不能出现短路现象。 ➢ 电烙铁必须接地良好。 ➢ 操作人员必须佩戴防静电手环
10	测试		智能电量测量仪	➢ 工作电流（A）。 ➢ 工作电压（V）。 ➢ 功率（W）。 ➢ 功率因数（PF）	➢ 是否有死灯、漏电、灯闪、短路、功率不对等现象，并做好不良品记录放在不良区待修理
11	装螺口塑件（底座）	螺口塑件（底座）、散热器、恒流源（电源）、LED灯板	电烙铁、焊锡丝	➢ 恒流源（电源）与壳体间要用青稞纸隔离以防短路。 ➢ 电源的DC端（正负极）一定接到连接板的正负极“V+”、“V−”位置。 ➢ 电源的风扇DC端（正负极）一定接到风扇的正负极“V+”、“V−”位置	

续表

序号	步骤名称	材料	工具	工艺要求	备注
12	装螺口灯头	E27 螺钉	剪钳、电烙铁、焊锡丝	➢ 与螺牙接触部分引线长度与螺牙等长并镀锡三分之一后上紧螺口。 ➢ 与螺钉接触部分与螺钉等长并镀锡后压紧	➢ 检查灯头的外观，看是否有划伤、变形，有无高低不平等现象。 ➢ 把电源线连接在灯头上固定
13	压螺口		压螺口机	➢ 灯头冲孔错位、冲孔数量要求 8 孔或 12 孔	
14	老化		老化架	➢ 按输入电压要求通电 12h 无异常则流入下一工序。 ➢ 按输入电压要求通电 12h 有异常则维修处理	➢ 不良品做好标识放到一边，待处理。 ➢ 检查所有灯珠是否全亮，工作性能是否在要求的范围内
15	出厂检验		智能电量测量仪、积分球、耐压测试仪、漏电测试仪	➢ 测量电参数。 ➢ 测量光参数。 ➢ 耐压测试。 ➢ 漏电测试	

LED 玉米灯的检验要求如表 5-19 所示。

表 5-19　LED 玉米灯的检验要求

序号	检验项目	标准内容	检验方法或设备	备注
1	外观	➢ 组装状态良好，各配件衔接可靠、牢固，无漏装或错装，无批锋、利边、利角，毛刺不划手；所有金属件无锈蚀。 ➢ LED 玉米灯边缘不得出现溢胶或黏性物体。 ➢ PC 罩表面无污染、无变形、无破损，不允许有色差。 ➢ 灯具内电源牢固无晃动。 ➢ 灯头不能出现变形、破损、氧化等现象。 ➢ 灯头冲孔错位、冲孔数量要求符合 8 孔或 12 孔。 ➢ 塑料灯头座、散热器及顶散热体和 PC 罩等颜色符合设计要求，不能有明显色差。 ➢ 焊接部位应平整、牢固，无焊穿、虚焊、飞溅等	目测、点径规	➢ 不允许 LOGO 缺字、断画。丝印、刻字以清晰识读为准。 ➢ 塑胶灯座表面无大于ϕ0.3mm 的杂点、料花
2	结构	➢ LED 玉米灯符合外形尺寸图要求，不能超出公差范围。 ➢ 灯头应符合 GB/T 1406.1、GB/T 1406.2、GB/T 1406.3、GB/T 1406.4、GB/T 1406.5 的要求	游标卡尺	
3	一般检验	➢ 色温、光通量、显色指数、电压、功率、功率因数是否符合要求。 ➢ 功率：在额定电压和额定频率下，其实际消耗的功率。 ➢ 功率因数：实测功率不大于 5W，最低功率因数不小于 0.5；实测功率不小于 25W，功率因数应不低于 0.9。 ➢ 显色指数 Ra 的初始值应不低于 80，R9>0。 ➢ 实测功率不大于 5W，电源效率不小于 70%；实测功率大于 5W，电源效率不小于 80%。 ➢ 灯头抗扭力矩为 3N·m，试验后不发生灯头松动等问题。 ➢ PC 罩内和表面不能有黑点、杂点、灰尘、手印或杂物。 ➢ E27 灯头表面光洁，可视面不能有大于ϕ0.3mm 的刮伤、凹坑	积分球、功率计、扭力仪、塞规	➢ 与实际功率之差不得大于 10%或±1W。 ➢ E27 灯头、塑胶底座之间装配到位，用 0.2mm 塞规条不能有可塞入的间隙

续表

序号	检 验 项 目	标 准 内 容	检验方法或设备	备　注
4	电磁兼容要求	➢ 光生物安全要求应符合国家标准 GB/T 20145—2006《灯和灯系统的光生物安全性》的要求。 ➢ 无线电骚扰特性应符合国家标准 GB 17743—2007《电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法》的要求。 ➢ 谐波电流限值应符合国家标准 GB 17625.1—2012《电磁兼容 限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流≤16A）》的要求		
5	性能试验	➢ 依据国家标准 GB/T 24824—2009《普通照明用 LED 模块测试方法》的要求进行测试		➢ 正常亮灯时表面温度不应超过 75℃
6	高温测试	➢ LED 玉米灯在高温 70℃条件下储存 16h，储存试验过程中样品不通电，然后降温到 55℃，保持 30min 后通电工作 30min，高温试验结束后降到常温进行试验后检测。 ➢ LED 玉米灯在低温-40℃条件下储存 16h，储存试验过程中样品不通电，然后升温到-25℃，保持 30min 后通电工作 30min，低温试验结束后升到常温进行试验后检测		➢ 测试其电性能，参数应与实验前保持一致
7	功能测试	➢ 灯体漏电、电源爆炸。 ➢ LED 无闪烁、暗光、不亮、暗斑，亮度一致，无色差。 ➢ 用 85V、100V、120V、180V、220V、240V、265V 电压通电点亮测试，不能有射灯不亮或灯亮后有故障熄灭；点亮工作时，不得出现启辉时间不同步现象（批量测试）。 ➢ 点亮后电源无异响、噪声等现象。 ➢ 常温常压下，启动时间需不大于 1s。 ➢ 断电后有明显放电现象不接受。 ➢ 在正常环境下工作时，铝基电路板温度不得超过 55℃。 ➢ LED 玉米灯放入光谱分析仪内用额定电压点亮，稳定 5min 测试其光通量、色温、显色指数在设计要求范围内。 ➢ 接地电阻应小于 0.5Ω、美规 0.1Ω 或者按国家地区具体安规要求执行。 ➢ 泄漏电流交流应小于 0.5mA，直流应小于 1mA 或者按国家地区具体安规要求执行。 ➢ 按技术要求相应频率、电压、电流、测试时间测试无击穿现象，AC 3kV/5mA/60s	耐压测试仪、漏电测试仪、接地电阻测试仪、积分球	➢ LED 玉米灯移印内容及 LOGO 符合图纸要求，不能有遗漏或字体不完整导致不能识读。 ➢ 依据客户产品规格书要求，但不小于：AC 1500V/5mA/60s。 ➢ 用一蘸有水的布反复擦拭标志 15s，待其干后，再用一块蘸有乙烷的布擦拭标志 15s，试验之后，标志仍然清晰
8	包装	➢ 内盒标贴正确，不能有印字错漏。 ➢ 内盒四棱要清，扣舌到位，不能有彩盒开裂、开胶或缺破。 ➢ 内外箱唛头正确，印字清楚，不能有模糊不清、少油或少笔现象。 ➢ 包装盒棱边不能有毛刺、批锋、锐角。 ➢ 纸盒无褶皱、开裂、变形、脏污、受潮等现象。 ➢ 包装盒上要有物料标签，标签上应标注名称、品名、规格（包括电压、显色指数、功率、光通量、色温）、型号、日期、数量六项基本要求。 ➢ 包装盒内应附有产品合格证。合格证上应标明：制造厂名称或注册商标、检验日期、检验员签章	目测	

5.8 LED 吸顶灯的设计与组装

5.8.1 LED 吸顶灯简介

LED 吸顶灯是吸附或嵌入屋顶天花板上的灯饰，是室内的主体照明设备，是家庭、办公室、娱乐场所等各种场所常用的灯具。一般直径在 200mm 左右的 LED 吸顶灯，适宜在走道、浴室内使用；而直径在 400mm 左右的 LED 吸顶灯，则装在不小于 16m^2 的房间顶部为宜。LED 吸顶灯的外形如图 5-43 所示。LED 吸顶灯的灯体直接安装在房顶天花板上，通常用于客厅和卧室，作整体照明用。

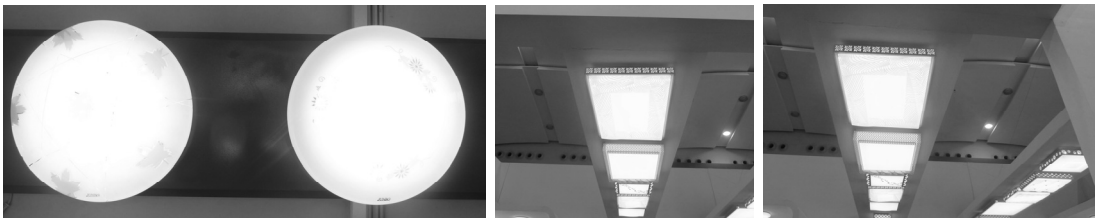


图 5-43 LED 吸顶灯的外形

LED 吸顶灯配合 LED 无线调光调色温恒流驱动，可实现优质的调光体验。功率从 12W 到 1000W 都可保持同步，采用主机连接副机模式，瓦数可随意搭配。拥有记忆存储灯光模式功能，关机后灯具自动记忆关机前的灯光效果模式，重新开机时自动恢复。色温冷暖（3000～6500K）、亮度调光及色温选择实现无级调节，光线更加柔和细腻，光色变化平顺自然，且支持 WiFi 手机控制。



- ☺ 无线遥控 LED 吸顶灯采用 2.4GHz 高频无线、微触按键遥控控制，传输距离远，空中通信速率高，抗干扰性更强，稳定性更高，灯体响应一致性好，实现无极调光调色。采用目前最先进的 PWM（脉宽调制）控制技术；无线电发射频率：2400～2483.5MHz（2.4GHz），全球通用。
- ☺ 组装时只需将 LED 灯板更换为双色 LED 灯板，分为两种色温，电源为 2.4GHz 无极调光调色的电源。
- ☺ 分段调光一般是通过控制 LED 数量点亮来调光，三种不同亮度，普通开关即可调光。
- ☺ 固定式通用灯具要进行 3C 认证，认证灯具有 LED 吸顶吊灯、LED 明装筒灯、LED 轨道灯、LED 壁灯、LED 吸顶灯等。
- ☺ 固定式通用灯具的国家标准有 GB 7000.1—2015《灯具 第 1 部分：一般要求与试验》、GB 7000.201—2008《灯具 第 2-1 部分：特殊要求 固定式通用灯具》、GB 17743—2007《电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法》和 GB 17625.1—2012《电磁兼容 限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流≤16A）》等。

5.8.2 LED 吸顶灯的组装

LED 吸顶灯的组装流程如图 5-44 示。

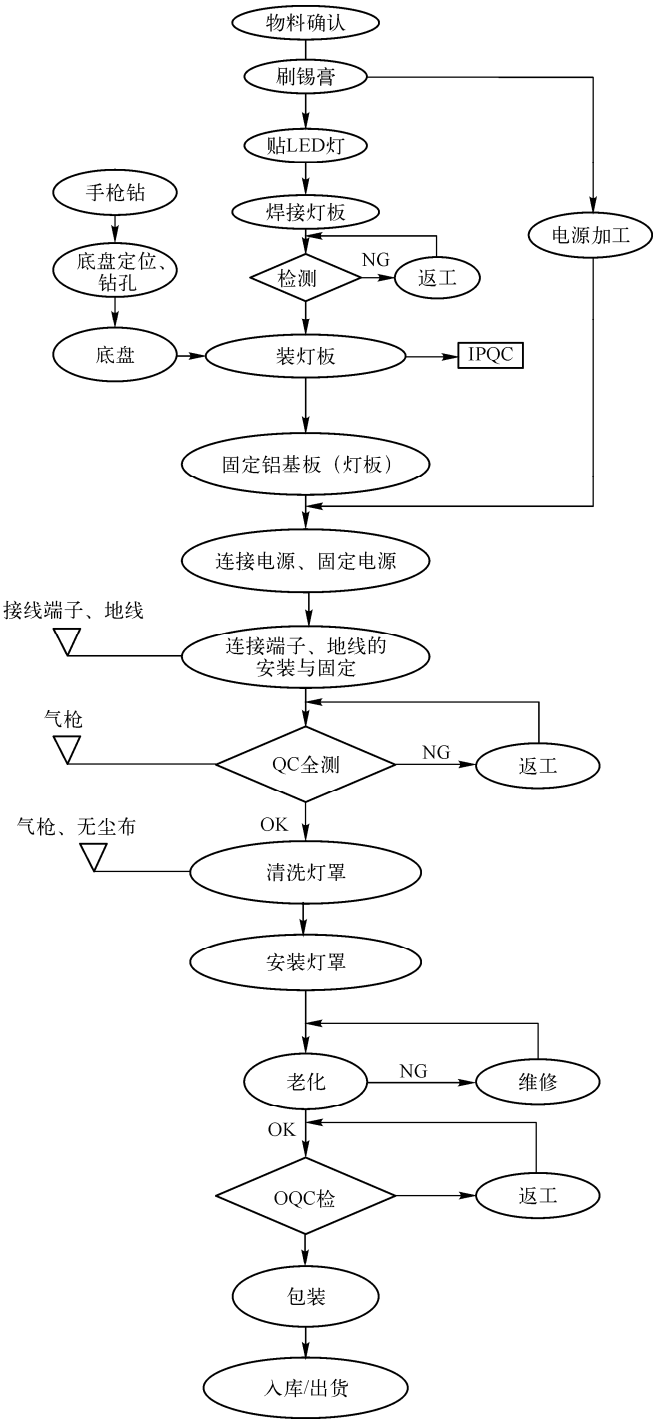


图 5-44　LED 吸顶灯的组装流程

5.8.3 LED 吸顶灯的检验要求

LED 吸顶灯的检验要求如表 5-20 所示。

表 5-20 LED 吸顶灯的检验要求

检验项目	检验标准		判定标准			检验方法
			严重缺点（CR）	主要缺点（MA）	次要缺点（MI）	
规格型号	➢ 与生产指令单相同，外箱、彩盒、泡沫、标贴、合格证、说明书配件等正确无误			√		目视
外观检查	➢ 外箱、彩盒、泡沫、说明书、保修卡、零配件、PE 袋按要求配套，不可出现错装、漏装现象，其图案文字符合要求（参照样板）；不同规格型号的 LED 吸顶灯灯板不可混装或漏装。 ➢ 包装箱无刮破，无颜色异常，尺寸符合要求			√		目视/样板
	➢ 内外包装标贴、铭牌，如功率、色温、电压、规格型号、生产日期等必须一致，标贴、铭牌等贴纸不应漏贴、反贴、斜贴，且贴上后不易脱落或卷曲				√	目视
	➢ 制造厂的名称和注册商标、额定电压、额定功率、额定频率、产品名称、生产批号、型号规格及生产日期				√	目视
	丝印字迹	➢ 丝印字迹清晰，不可有模糊、缺字、残字、堆墨、走位、重印等不良现象			√	目视
		➢ 标志耐久性：用浸水的布轻擦 15s，然后再用浸酒精的布轻擦 15s，标志应清晰可辨		√		目视
	五金件	➢ 螺钉、介子等五金件无生锈、变形、毛刺、锐边等		√		目视
		➢ 距离 30cm 目视：电镀件如锰片、弹（卡）簧等电镀良好无剥落。 ➢ 喷粉五金件铁底盘，无凹凸、裂缝、划伤、粉薄现象。 ➢ 同一批产品无明显色差；螺丝露出底壳时不可高出底壳凸起的最高部。 ➢ 表面有明显生锈、氧化、变色，而且经清洁后残留有印，不可接受		√		目视
	塑胶件	➢ 距离 30cm 目视：无明显缺胶、缩水、批锋、顶白、混色、水纹、划伤等现象		√		目视
		➢ 用手折弯胶件，无破裂、分层现象		√		手试
		➢ LED 吸顶灯点燃后观察透明片亮度应均匀，无明显漏光现象				目视
		➢ 距离 30cm 目视：底壳电镀层无明显划伤、发白、发黑、发黄、发彩现象		√		目视
		➢ 距离 30cm 目视:边盖烫金不可有明显黑点、划伤现象		√		目视
	LED 吸顶灯灯板	➢ 表面光滑洁净，无粉尘、锡渣等			√	目视
		➢ LED 光源块无闪烁现象，LED 光源表面无明显色差与色斑。 ➢ 通以额定电源将 LED 吸顶灯灯板点亮，无闪烁、死灯等现象， 光色正确，光电参数符合要求。 ➢ LED 灯珠无空焊、短路、偏移、浮高、极性反等。 ➢ LED 吸顶灯灯板表面无起泡、脏污、变色、变形。 ➢ 线路无损伤、断裂、折痕；焊盘无颗粒锡珠，无助焊剂残留，无假焊、虚焊等。 ➢ LED 灯珠焊点光滑，无锡尖、锡包、短路等			√	目视/积分球

续表

检验项目	检 验 标 准		判 定 标 准			检验方法
			严重缺点（CR）	主要缺点（MA）	次要缺点（MI）	
PC 罩		➢ 灯罩的披锋、划痕、杂点，在同一个灯罩内不能有两处同样大小的披锋划痕、杂点出现。 ➢ 丝印、花印要清晰，位置要均匀一致，不能有杂点、重影等缺陷。 ➢ 测量外形与口径尺寸符合要求，与底盘配合良好。 ➢ LED 吸顶灯整灯点燃后观察 PC 罩亮度应均匀，无明显漏光现象		√		目视
成品检测		➢ LED 吸顶灯成品表面无破损、刮花、斑点、污渍等影响外观的缺陷；表面无刮伤、生锈、麻点现象，喷油件表面颜色均匀无杂色、杂质。 ➢ LED 吸顶灯整体外观有明显碰伤、压伤、变形等。 ➢ LED 吸顶灯底壳电镀层无明显划伤、发白、发黑、发黄、发彩现象。 ➢ LED 吸顶灯各部件是否完整无漏装、错装（如螺钉），安装牢固可靠，无松动、变形，用手触摸应平滑无利边利角。 ➢ 将 LED 吸顶灯放在水平面上用手摇晃两侧，注意灯具内部不能有异响		√		目视
各部件结合紧密性		➢ LED 吸顶灯部件与部件之间应结合紧密，不可出现错位、翘起、扭曲、变形现象，螺钉、介子等五金件无松动、松脱、滑牙（可加螺母）。 ➢ 与对应产品组装无滑牙、打不进或无法匹配的现象。 ➢ LED 吸顶灯内接线极性不可接反，要有护线套，并用热缩管收紧后加扎线带绑紧，出线孔位要有护线圈		√		目视
点亮测试		➢ 接通电源后，LED 吸顶灯发光不可有任何闪烁，发光面积外不可有斑点。 ➢ 功率（*P*）符合要求，误差±0.1。 ➢ 功率因素（PF）符合要求，误差±0.05		√		目视、智能电量测试仪
耐压测试		➢ 将耐压测试仪的漏电流调至 5mA 挡，时间 3s，1500V，耐压测试仪未报警则为良品。 ➢ 接线端子安装处应有“L”、“N”及“⏚”符号		√		耐压测试仪
接地电阻		➢ 时间调至 3s，电流≥10A，接地端子与可触及到的最远金属部件之间的电阻不可≥0.5Ω		√		接地电阻测试仪
跌落测试		➢ LED 吸顶灯成品无击碎、破裂及严重变形，配件无松脱		√		
光学测试		➢ LED 吸顶灯的光通量、光效、显色指数、色温、光强分布曲线符合设计要求或客户要求		√		积分球、分布光度计
装箱/可靠性		➢ 外箱标示装箱数量与实际装箱数量必须符合			√	目视
		➢ 配件包严格按 BOM 表或 LED 吸顶灯成品所需配件进行配备，不可漏放、少放、多放		√		目视
		➢ 外箱与泡沫、灯具配合良好，符合可靠性检验。 ➢ 整箱产品以一角三边六面跌落要求箱内产品无损坏（包括性能和外观）。 ➢ 包装无严重破损；跌落高度根据重量决定		√		跌落试验
	外包装	➢ 外包装需贴有明显物品标示且应与实物相符。 ➢ 包装材料无破损、体污。 ➢ 外箱标示装箱数量与实际装箱数量必须符合		√		目视

5.9 LED 筒灯的设计与组装

5.9.1 LED 筒灯简介

LED 筒灯根据安装方式分为固定式 LED 筒灯、嵌入式 LED 筒灯，根据产品结构分为电源一体式和电源分体式；其范围要求应特别注意产品的安装尺寸与传统光源筒灯之间的互换性。 LED 筒灯是一种嵌入到天花板内光线下射式的照明灯具，一般用于普通照明或辅助照明。LED 筒灯由 LED 模块、控制装置、连接器、灯体等组成。按结构可分为自带控制装置式（即整体式）、控制装置分离式。LED 筒灯按安装方式分为嵌入式与明装式；按灯管安装方式分为螺旋灯头与插拔灯头、竖式筒灯与横式筒灯。LED 筒灯的大小有 2 英寸、2.5 英寸、3 英寸、3.5 英寸、4 英寸、5 英寸、6 英寸、8 英寸、10 英寸等。LED 筒灯的外形如图 5-45 所示，广泛应用于大型办公室、会议室、百货商场、专卖店及一些民用家居。



图 5-45 LED 筒灯的外形



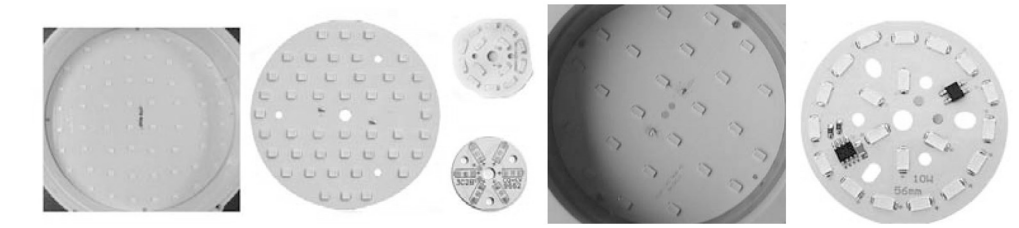
（1）LED 筒灯主要应用于家居照明、娱乐场所照明、办公场所照明、大型公共场所照明、局部照明及商业场所照明等。

（2）LED 筒灯为了达到传统灯具照明效果，应采用反光杯的形式，这样才能满足配光要求。当然，也可以使用点光源混光方式，然后通过反光杯来实现。不过目前也有一些 LED 筒灯使用 COB 光源模块，再外加一个反光杯，这样可以使出光效率更高，同时可以避免点光源混光引起的光损。

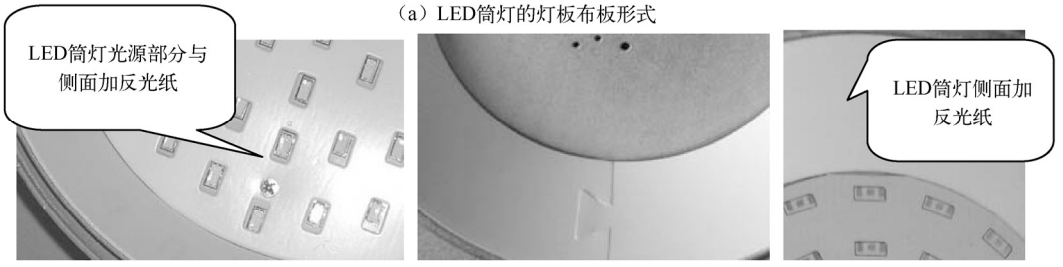
（3）LED 防水筒灯防水等级可以达到 IP65，适用于厨房、浴室、卫生间等照明场合。

5.9.2 LED 筒灯的组装

LED 筒灯利用其反射罩（透镜）的光度、形状的不同来体现其聚光的宽窄、漫射光的强弱和范围，突出主体照射物，营造不同视觉效果；筒灯既可镶嵌在楼板隔层里，也可悬挂或明装，自行布成美丽而不同的图案。LED 筒灯作为普通照明和辅助照明，通常在光学上没有很严苛的要求，大多数 LED 灯珠可以满足 LED 筒灯的光学要求。LED 筒灯的光学设计就是将光源腔内的光线反射出去，使得出光面上光斑均匀。LED 筒灯的灯板布板形式及反光纸安装形式如图 5-46 所示。



（a）LED筒灯的灯板布板形式



（b）反光纸安装形式

图 5-46　LED 筒灯的灯板布板形式及反光纸安装形式

说明

MCPET 反光板通过刀模裁剪 MCPET，可以应用于 LED 筒灯、平铺 LED 筒灯底部和侧壁，有效提高光效和均匀度。

COB LED 筒灯内部光源腔原理和采用小功率的 LED 筒灯的光学原理是相同的，大部分的光是直接通过透光罩发射到灯具外部的。为了能够降低整个 LED 筒灯的高度，主要是降低反光罩的高度，内有栅格型突起，使反光效果更好。充分利用有限光能，通过栅格反射面来控制主光斑的光照距离和光照面积。LED 筒灯的 COB 形式与反光杯如图 5-47 所示。

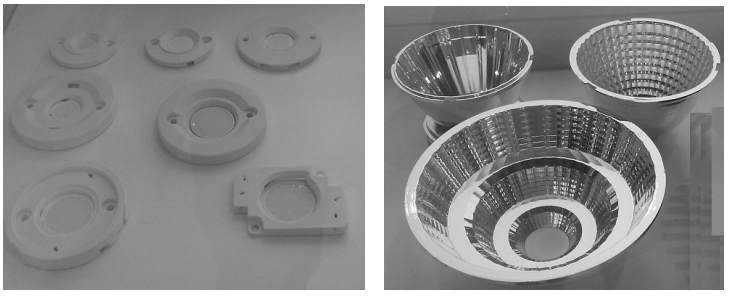


图 5-47　LED 筒灯的 COB 形式与反光杯

说明

COB 光源生产供应商有朗明纳斯、西铁城、CREE、飞利浦、夏普、锐高、艾笛森、璨阳、光宝、欧司朗、普瑞、齐瀚、三星、升谱、首尔、隆达、中昊、国星、易美芯光等，根据 COB 光源生产供应商来选择合适的导光柱、反光杯、透镜。

LED 筒灯的结构示意图如图 5-48 所示。

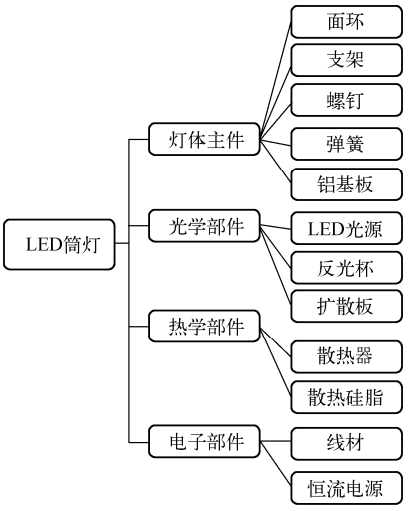


图 5-48　LED 筒灯的结构示意图



- ☺ 扩散板两面需附保护膜防护，且撕起后扩散板上不能残留胶印、脏污、灰尘，必须保证产品表面洁净。
- ☺ LED 筒灯表面喷漆或喷粉厚度应均匀，不可出现厚薄不均或露基材现象。螺丝孔内不可有烤漆或铝屑堵塞。
- ☺ LED 筒灯螺丝孔深度必须符合图纸要求，来料结构必须与图纸或承认书一致。
- ☺ LED 光源的色温、色容差、*X* 和 *Y* 轴坐标、红色比（R9）、显指、光通量、电压需符合 LED 筒灯设计要求。
- ☺ LED 筒灯整灯色温、色容差、*X* 和 *Y* 轴坐标、红色比（R9）、显指、光通量、光效、功率需符合 LED 筒灯设计要求。

COB LED 筒灯工艺流程图如图 5-49 所示。

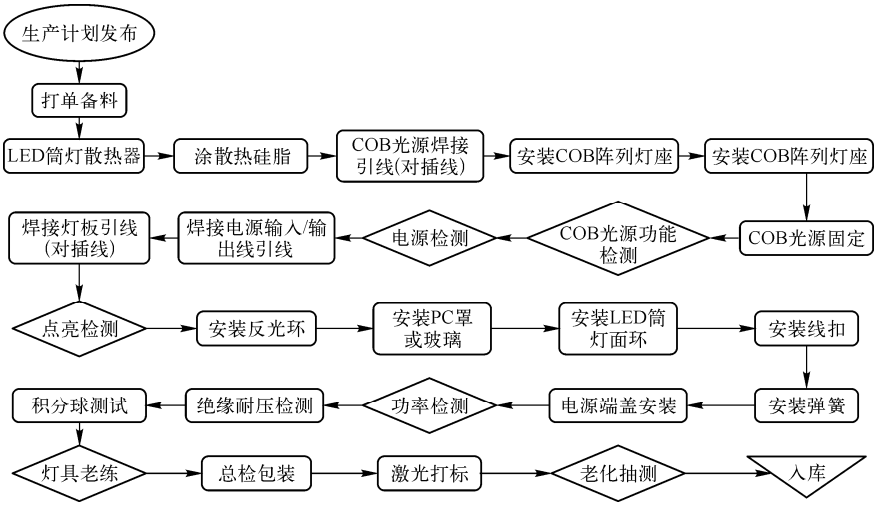


图 5-49　COB LED 筒灯工艺流程图



（1）LED 筒灯 3C 认证国家标准有 GB/T 30413—2013《嵌入式 LED 灯具性能要求》、GB/T 29293—2012《LED 筒灯测试方法》、GB/T 29294—2012《LED 筒灯性能要求》、GB/T 18595—2014《一般照明用设备电磁兼容抗扰度要求》、GB 7000.1—2015《灯具 第 1 部分：一般要求与试验》、GB 17743—2007《电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法》、GB 17625.1—2012《电磁兼容 限值 谐波电流发射限值(设备每相输入电流≤16A)》、GB 7000.202—2008《灯具 第 2-1 部分：特殊要求 嵌入式灯具》等。

（2）LED 筒灯电源控制芯片要采用 ST（意法半导体）、NXP（恩智浦半导体）、TI（德州仪器）或国内知名品牌产品，电解电容采用日本红宝石或台湾冠坤产品，MOS 管采用仙童、ST（意法半导体）产品，肖特基等二极管采用安森美、ST（意法半导体）、强茂产品，取样贴片电阻采用威世半导体（VISHAY）产品（高精度、低温漂、合金电阻），其他贴片电阻电容选用 TDK、村田、国巨、风华等产品。

（3）COB 光源要进行耐压测试，耐压测试要求 DC 500V/5mA/60s，调好后将 COB 光源的支架底接耐压测试仪负极，耐压测试仪正极接 COB 光源焊盘，耐压测试仪通电后，不能出现击穿、漏电电流大等现象。

（4）辐射安全等级分为 4 级，分别为豁免级（无危害）、Ⅰ类（低危害）、Ⅱ类（中等危害）、Ⅲ类（高危害）。

5.9.3 LED 筒灯的检验要求

LED 筒灯的检验要求如表 5-21 所示。

表 5-21 LED 筒灯的检验要求

序号	检验名称	检验项目	检测条件或标准	备 注
1	标志	方法及位置	➢ 标志方法、位置设计符合公司产品设计的要求或国家标准	
		耐久性	➢ 用蘸有水的湿布轻轻擦拭 15s，等其完全干后，再用蘸有汽油的湿布擦拭 15s，试验完成后标志依然清晰	
2	工作环境	温度、湿度	➢ 室内温度：−25～+45℃。 ➢ 相对湿度：不大于 90%RH（25±5℃）	正常工作和燃点
3	外形尺寸		➢ LED 筒灯外形尺寸与嵌入尺寸符合公差要求。 ➢ LED 筒灯外形尺寸符合相关国家标准的规定	➢ LED 筒灯的国家标准。各个部件均符合技术图纸要求
4	外观		➢ LED 筒灯表面应平整、光洁，无划伤等缺陷。 ➢ LED 筒灯的标志应清晰，无缺画、断画、少字等现象。 ➢ LED 筒灯内外应无尖角和毛刺。内外圈松紧度适合，无明显偏歪现象。摆动时内外环不能有碰触现象。 ➢ LED 筒灯的所有零件均应定位安装、牢固可靠，没有松动现象。 ➢ LED 筒灯转动件应能灵活转动、接触良好、无轴向窜动。 ➢ LED 筒灯焊接部位，如灯板、电源输出/输入端引线焊接应平整、牢固，无虚焊、假焊等现象。 ➢ 安装弹片弹力符合产品要求	

续表

序号	检验名称	检验项目	检测条件或标准	备　　注
5	安全		➢ LED 筒灯一般的性能、安全及相应的试验符合 GB 7000.1—2015《灯具 第 1 部分：一般要求与试验》的规定。 ➢ LED 筒灯悬挂系统应能承受等于 4 倍 LED 筒灯重量的恒定均布载荷，以灯具正常的受载方向加在灯具上，历时 1h，悬挂系统的部件应无明显变形。 ➢ 60N 的电源线拉力测试，施加冲击能量 0.35N·m 进行外壳冲击测试。 ➢ LED 筒灯防火与防燃级别不低于 90-V2，筒灯内使用的电线应能承受 105℃以上温度，电线不变形	➢ 拉力试验后，软缆位移不能超过 2mm
6	LED 驱动电源		➢ LED 驱动电源安全及性能要求应符合 GB 19510.14—2009《灯的控制装置 第 14 部分：LED 模块用直流或交流电子控制装置的特殊要求》、GB/T 24825—2009《LED 模块用直流或交流电子控制装置性能要求》的规定。 ➢ 电磁兼容抗扰度要求应符合 GB/T 18595—2014《一般照明用设备电磁兼容抗扰度要求》的规定。 ➢ LED 驱动电源的功率不超过标称值	➢ 爬电距离及电气间隙符合国家标准 GB 7000.1—2015《灯具 第 1 部分 一般要求与试验》表 11.1 要求
7	LED 筒灯光源板		➢ LED 筒灯光源板的额定电压小于 LED 驱动电源标记的最大输出电压，大于 LED 驱动电源标记的最小输出电压。 ➢ LED 驱动电源的输出电流实测值与标称值之间的偏差≤±10%。 ➢ 基本绝缘的爬电距离要求为 2.5mm，电气间隙要求为 1.5mm。 ➢ 附加绝缘的爬电距离要求为 2.5mm，电气间隙要求为 1.5mm。 ➢ 加强绝缘的爬电距离要求为 5.0mm，电气间隙要求为 3.0mm	➢ 爬电距离及电气间隙符合国家标准 GB 7000.1—2015《灯具第 1 部分 一般要求与试验》表 11.1 要求
8	安全及性能、光生物安全		➢ LED 模块安全及性能要求应符合 GB 24819—2009《普通照明用 LED 模块 安全要求》、GB/T 24823—2009《普通照明用 LED 模块 性能要求》的规定。 ➢ 光生物安全要求应符合 IEC/TR 62778—2014《应用 IEC 62471 评估光源和灯具的蓝光危害》及 GB/T 20145—2006《灯和灯系统的光生物安全性》的规定	➢ 光生物安全类别 0 类或 I 类
9	电磁兼容		➢ 电磁兼容要求应符合 GB 17743—2007《电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法》的规定。 ➢ 输入电流谐波应符合 GB 17625.1—2012《电磁兼容限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流≤16A）》的规定。 ➢ 功率小于 25W 只考虑 3、5 次谐波，其中 3 次谐波要求小于 86%，5 次谐波要求小于 61%。 ➢ 功率大于 25W 谐波要求考虑 3、5、7、9、11～39 次奇次谐波，其中 3 次谐波要求小于 30λ（λ 是电路功率因数）。5 次谐波要求小于 10%，7 次谐波要求小于 7%，9 次谐波要求小于 5%，11～39 次奇次谐波要求小于 3%。 ➢ 测试准峰值、平均值，所测频率范围为 0.09～30MHz，所测准峰值和平准值的数据必须在基准线以下，不得超出平均值基准线	

续表

序号	检验名称	检验项目	检测条件或标准	备　注
10	功率	功率因数	➢ 消耗功率不大于额定值的 10%。 ➢ 实测功率<5W，PF≤0.5，5W<实测功率<15W，PF≥0.7，实测功率>15W，PF≥0.9。 ➢ 实测功率的误差不能超过±0.05	➢ 额定电源电压
11	光参数	色温、显指、光效、光通量、光通维持率	➢ 光通量按 GB/T 24824《普通照明用 50V 以上自镇流 LED 灯 安全要求》规定的方法测量。 ➢ LED 筒灯的初始显色指数不应低于 80，R9>0。 ➢ 色容差小于 5SDCM。 ➢ 初始光通量：不低于额定值的 90%，不高于额定值的 120%。 ➢ 色温≤3500K 时，光效不低于 65lm/W。 ➢ 3500K<色温≤6500K 时，光效不低于 70lm/W。 ➢ 3000h 光通维持率不低于 96.5%。 ➢ 6000h 光通维持率不低于 93.1%	➢ 色容差不超过 5SDCM。 ➢ LED 筒灯发光面积增大时，相关光效也可以提高。 ➢ COB SDCM≤3 或 4。 ➢ 发光均匀，无明显暗区，无色差、亮斑、灰影、漏光、频闪等不良现象。 ➢ 额定电压点亮时无死灯、灯暗、灯闪、色差、灯响等现象
12	高压测试绝缘电阻泄漏电流		➢ 3000V/5mA/60s（无击穿、无报警、没有电弧产生）。 ➢ Ⅱ类灯具带电部件和灯具的金属部件之间施加 $4U$+2000V。 ➢ 绝缘电阻 DC 500V 为 4MΩ。 ➢ 泄漏电流≤1mA	➢ 通过
13	环境实验	高温试验 低温试验 湿度试验	➢ 将 LED 筒灯置于+50℃高温箱内 24h，LED 筒灯能够正常启动和燃点，测试其光电参数正常。 ➢ 将 LED 筒灯置于-30℃低温箱内 24h，LED 筒灯能够正常启动和燃点，测试其光电参数正常。 ➢ 相对湿度控制在 91%～95%RH	➢ 额定工作条件
14	产品标志（标牌）		➢ LED 筒灯在明显位置要有产品标牌（符合 GB/T 13306—2011《标牌》规定）。 ➢ 制造厂厂名、厂址。 ➢ 产品名称及型号。 ➢ 产品编号及生产日期。 ➢ 主要技术参数。 ➢ 产品标准号、相关认证标志。 ➢ 标签贴在灯体位置、方向一致。不应出现翘角、起皱、缺角、偏歪等不良现象	➢ 清晰地标示产品基本信息与参数。 ➢ 标识位置正确，字体应清晰，内容正确，书写字体端正，油墨清晰。 ➢ 标识产品型号、额定电源电压、电源频率和电源电流、线路功率因数、额定功率
15	标记要求		➢ 当标记的空间有限时，只有Ⅱ类、Ⅲ类的高度可以减小到 3mm。 ➢ 一起表示或作为符号组成部分的字母和数字的高度应不小于 2mm。 ➢ 相关标记要符合 3C 认证（筒灯）要求	➢ 数字/字母高度大于 2mm，图形符号的高度应不低于 5mm，垃圾桶标志高度大于 7mm
16	包装外箱标志		➢ 产品名称、型号及数量。 ➢ 出厂年月或生产日期。 ➢ 外形尺寸(mm×mm×mm)：长×宽×高。 ➢ 毛重：kg。 ➢ “防湿”、“禁止翻滚”、“防压”、“防摔”等字样或标志（图形应符合 GB/T 191—2008《包装储运图示标志》的规定）。 ➢ 制造厂名和地址。 ➢ 安全标志准用证号	
17	技术文件		➢ 产品合格证。 ➢ 产品使用说明书（说明书符号 GB/T 9969—2008《工业产品使用说明书 总则》的规定）	
18	储存条件		➢ 储存环境温度为−25～+45℃。 ➢ 干燥、清洁及通风良好、无腐蚀性介质的仓库内	



- ☺ 光源不能有死灯、光衰、频闪、正负极反向、光形中有黑点、空心及混光形。
- ☺ 色温（波长）与客户要求不符（如偏蓝或偏黄）。检测色温、流明值、波长、显色指数、V_F 值、光通量、光效、坐标值是否在规定的范围内。
- ☺ 电源输入线必须有 3C 认证，型号规格为 50227 IEC 52（RVV），其大小为 $2\times0.75mm^2$。
- ☺ 以插入端子方式来接插线材时，输入端线材横截面积为 0.5 ~ $1.5mm^2$，输出端为 0.5 ~ $1.5mm^2$，绝缘剥皮长度为 8 ~ 9mm，这样才能确保线材插入端子，每个端子只能插入一条线材。
- ☺ 当线材线径小于 $1.0mm^2$ 时，必须用压线装置压在线材上，才能确保线材防拉测试符合安全标准。
- ☺ 压线装置由金属螺钉固定时，要根据金属螺钉直径对螺钉进行扭矩测试。
- ☺ LED 筒灯内部接线按照 GB 7000.1—2015《灯具 第 1 部分：一般要求与试验》执行，同时也要进行光生物安全性测试。
- ☺ 可调色温的 LED 筒灯，实现 2700K ~ 4000K ~ 6000K 色温的切换。
- ☺ GB 7000.1—2015《灯具 第 1 部分：一般要求与试验》于 2017 年 1 月 1 日实施，自该日起，灯具类产品强制性认证执行新版标准。
- ☺ “CCC”认证标志分为四类，分别是 CCC+S 安全认证标志、CCC+EMC 电磁兼容类认证标志、CCC+S&E 安全与电磁兼容认证标志、CCC+F 消防认证标志。
- ☺ 3C 认证会根据灯具的功率来划分系列，具体的标准是分为 25W 以上和 25W 以下。
- ☺ 嵌入式灯具是 3C 目录中的产品，认证灯具有 LED 筒灯、LED 天花灯、LED 格栅灯、LED 象鼻灯、LED 面板灯（圆形）等。嵌入式灯具认证机构为中国质量认证中心和广东质检中诚认证有限公司。
- ☺ 3C 认证测试主要内容有标志、结构、内部和外部线材要求及线路、接地规定、爬电距离和电气间隙、接线端子及其要求、防触电保护；耐久性和耐热性试验、防水和防尘、绝缘电阻；介电强度、耐热、耐火、耐电痕、灯具控制装置或电子装置故障条件的发热试验等；辐射电磁骚扰（传导和辐射）、谐波等。

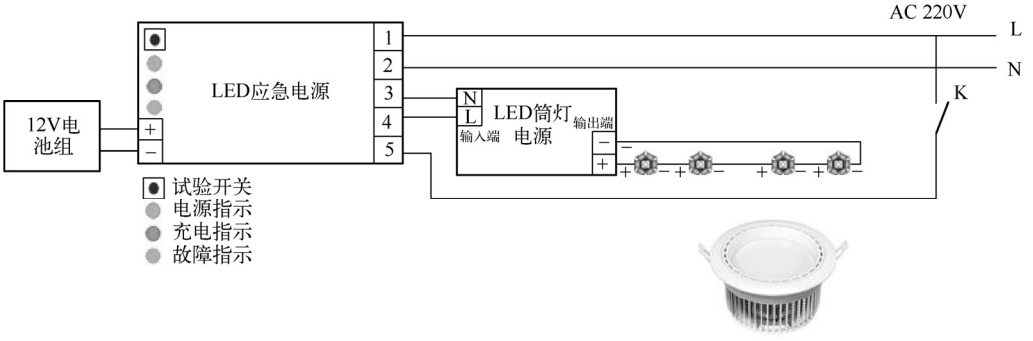
LED 筒灯标签要求如表 5-22 所示。

表 5-22　LED 筒灯标签要求

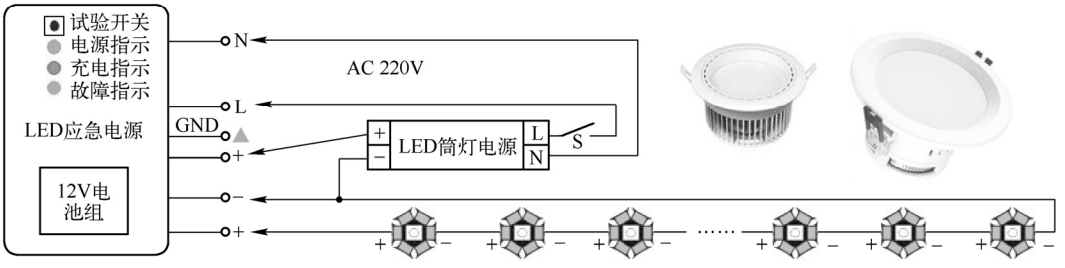
序号	图　　示	说　　明
1	IP 等级	两个 IP 等级的嵌入式灯具，在安装时两个 IP 等级标记都应看得见，且显而易见。即使规定的 IP 等级是 IP20 或较低额定值，也要标记
2	公司LOGO 产品名称：LED筒灯 产品型号：XXXXXX 额定电压/额定频率：220V~ 50Hz 输入功率：XXW（X*XW/LED模块） 描述：xxxx 功率因素：XX 色温：XX Ta：xx Tc：xx	说明书补充： （1）不能安装在可燃材料表面的说明； （2）不适宜被隔热材料覆盖的说明； （3）光源不可替换的说明：此灯具的光源是不可替换的；当光源到其寿终时，应替换整个灯具

5.9.4 LED 应急筒灯

LED 应急筒灯在 LED 筒灯的基础上加上应急电源，功率分全功率与半功率两种。半功率是在应急状态下自动降低输出功率，在经济的条件下完美达到 1.5h 应急要求。LED 应急筒灯可以自动识别是电网掉电还是手动关闭交流工作开关。全功率工作时，应急电源是逆变器；半功率工作时，应急电源就是工作电源。 LED 应急筒灯接线示意图如图 5-50 所示。LED 应急筒灯是安装在公众场所中，以应付火灾、地震及各种突发事故而引起停电时为人员疏散及各种安全作业起指示作用的 LED 照明灯具。



（a）全功率LED应急筒灯接线示意图



（b）半功率LED应急筒灯接线示意图

图 5-50　LED 应急筒灯接线示意图



☺ LED 应急电源可以适配 LED 灯管、LED 射灯、LED 面板灯、LED 球泡灯等 LED 照明灯具，使之具备停电后应急照明的功能。LED 照明灯具种类不同，匹配的 LED 应急电源规格参数也会存在差异。

☺ LED 应急电源配合耐高温型镍氢（Ni-MH）、镍镉（Ni-Cd）等充电电池使用，停电后应急照明时间可达 1 ~ 3h，电池组的容量决定灯具应急时间长短。

☺ 市电 AC 正常供应时，LED 应急电源（逆变器）使电池组处于充电或备用状态，涓流充电维护电池的性能及使用寿命。

LED 照明设计与应用（第3版）

第6章

调光类 LED 灯具的设计与组装

6.1 LED照明灯具的调光方式

脉冲宽度调制调光法和可控硅相控（斩波法）调光法是传统灯具的调光方式，这里也简单地进行介绍，目的是让读者对传统灯具调光方式有一定了解之后，加深对LED调光方式的理解，同时也可以对比两者的不同之处。

1．脉冲宽度调制（PWM）调光

脉冲宽度调制调光法是利用调节高频逆变器中功率开关管的脉冲占空比，从而实现灯输出功率调节的。半桥逆变器的最大占空比为0.5，确保半桥逆变器中的两个功率开关管之间有一个死时间，以避免两个功率开关管由于共态导通而损坏。

这种调光控制法能使功率开关管导通时工作在零电压开关（ZVS）状态，关断瞬间需采用吸收电容以达到ZCS工作条件，这样即可进入ZVS工作方式，这是它的优点。同时EMI和功率开关管的电应力可以明显降低，然而，如果脉冲占空比太小，以致电感电流不连续，则将会失去ZVS工作特性，并且由于供电直流电压较高，而使功率开关管上的电应力加大，所以这种不连续电流导通状态将导致电子镇流器的工作可靠性降低并加大EMI辐射。

除了小的脉冲占空比外，当灯电路发生故障时，也会出现功率开关管的不连续电流工作状态。当灯负载出现开路故障时，电感电流将流过谐振电容，由于谐振电容的容量较小，所以阻抗较大，而在该谐振电容上产生较高的电压。除非两个功率开关管有吸收保护电路，否则功率开关管将承受很大的电压应力。

PWM调光前景广阔，PWM调光技术与0～10V调光相比较，PWM调光时LED色温不会随着LED驱动电源电流的大小发生偏移，PWM调光精度比0～10V调光要高。PWM调光的缺点是调光频率在200～20kHz之间时，LED驱动电源会出现噪声。

2．可控硅相控（斩波法）调光

由于可控硅相控（斩波法）调光法具有体积小、价格合理和调光功率控制范围宽的优点，所以可控硅相控调光法是目前使用最为广泛的调光方法，可以将荧光灯的光输出在50%～100%的范围内调节。但是在荧光灯的电感镇流应用场合，需用到一只“启辉器”，而荧光灯电感镇流电路在供电电压较低的应用场合下会产生荧光灯启动困难的问题，这限制了荧光灯可控硅相控调光的调光范围。可控硅相控前沿触发的调光工作波形原理如图6-1所示。

应用可控硅相控工作原理，通过控制可控硅的导通角，将电网输入的正弦波电压斩掉一部分，以降低输出电压的平均值，控制灯电路供电电压，从而实现调光。可控硅相控调光对照明系统的电压调节速度快，调光精度高，调光参数可以分时段实时调整。由于调光电路主要由电子元件组成，故相对来说体积小、设备质量轻、成本低。但是可控硅相控调光由于工作在斩波方式，电压无法实现正弦波输出，因此出现大量谐波，形成对电网系统的谐波污染，危害极大，不能用于有电容补偿的电路中。

可控硅相控调光是采用相位控制的方法来实现调光的，通过触发信号来控制可控硅导通

角。对普通反向阻断型的可控硅，其闸流特性表现为当可控硅加上正向阳极电压，又加上适当的正向栅极控制电压时，可控硅导通；这一导通即使在撤去栅极控制电压后仍将维持，一直到加上反向阳极电压或可控硅阳极电流小于可控硅自身的维持电流后才会关断。

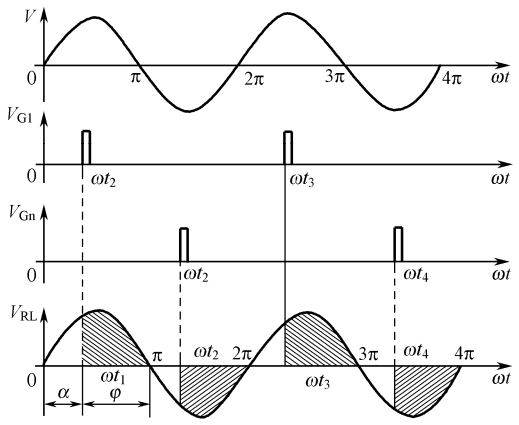


图 6-1　可控硅相控前沿触发的调光工作波形原理

从图 6-1 所示的可控硅相控前沿触发的调光工作波形原理图可以看出，在正弦交流电过零后的某一时刻 t_1（或某一相位ωt_1），在可控硅的栅极上加一正触发脉冲，使可控硅触发导通，根据可控硅的开关特性，这一导通将维持到正弦波的正半周结束。所以在正弦波的正半周（即 0～π区间）中，0～ωt_1 范围内可控硅不导通，这一范围叫作可控硅的控制角，常用α表示；而在ωt_1～π的相位区间可控硅导通，这一范围（见图 6-1 中的斜线部分）称为可控硅的导通角，常用φ表示。同样在正弦交流电的负半周，对处于反向连接的另一只可控硅（相对于两个单向可控硅的反向并联而言），在 t_2 时刻（即相位角ωt_2）施加触发脉冲，使其导通。如此周而复始，对正弦波的每一半周期控制其导通，获得相同的导通角。如果改变触发脉冲的触发时间（或相位），即改变可控硅导通角φ（或控制角α）的大小。导通角越大，电路的输出电压越高，相应灯负载的发光越亮。可见，在可控硅调光电路中，电路输出的电压波形已经不再是正弦波了，除非调光电路工作在全导通状态，即导通角为 180°。



☺ 后沿调光器的工作模式是通过 MOS 管改变电压波形达成调光的效果，线路布局比较复杂，成本相对较高，优点是输入电压不稳定，不会影响调光效果；调光时没有响声。

☺ 前沿调光器的工作模式是通过可控硅器件改变电压波形达成调光的效果，前沿调光器在调光的时候会有少许响声，同时由于输入电压不稳定会影响调光效果，这一点值得设计者注意。

☺ LED 调光电源要求恒流电源与可控硅调光完美匹配，只有恒流电源与可控硅控制器步调一致才能正常地使用。要对 LED 照明灯具实现调光，其对电流的控制是相当严格的，因 LED 灯的特性确定。

☺ 可控硅调光电源在调光过程中会出现噪声过大的问题，这一点在选择 LED 可控硅

调光电源时非常重要。

☺ LED可控硅调光电源与可控硅（TRIAC）调光器之间不兼容会产生问题，主要的问题有突亮、骤降、死区、残影、噪声、闪烁。

3．LED光源调光

LED的调光是利用一个DC信号或滤液PWM对LED中的正向电流进行调节来完成的。减小LED电流将起到调节LED光输出强度的作用，然而，正向电流的变化也会改变LED的色彩，因为LED的色度会随着电流的变化而变化。许多应用（如汽车和LCD TV背光照明）都不允许LED发生任何的色彩漂移。在这些应用中，由于周围环境中存在不同的光线变化，而且人眼对于光强的微小变化都很敏感，因此宽范围调光是必需的。通过施加一个PWM信号来控制LED亮度的做法允许在不改变色彩的情况下完成LED的调光。人们常说的真正彩色（True Color）PWM调光是利用一个PWM信号来调节LED亮度的。

调节LED亮度有三种常用方法。

（1）使用SET电阻，在LED驱动控制IC引脚RSET两端并联不同的转换电阻，使用一个直流电压设置LED驱动控制IC引脚RSET的电流，从而改变LED的正向工作电流，达到调节LED发光亮度的目的。

（2）采用PWM技术，利用PWM控制信号，通过控制LED的正向工作电流的占空比来调节LED的发光亮度。

（3）线性调节。最简便的方法是在LED驱动控制IC中使用外部SET电阻来实现LED的调光控制。虽然这种调光控制方法有效，但却缺乏灵活性，无法让用户改变光强度。线性调节则会降低效率，并引起白光LED朝黄色光谱的色彩偏移，可能是轻微的偏移，但可在敏感应用中检测出来。

采用数字或PWM的LED调光控制法，以大于100Hz的开关工作频率，以脉宽调制的方法改变LED驱动电流的脉冲占空比来实现LED的调光控制，选用大于100Hz开关调光控制频率的目的主要是为了避免人眼感觉到调光闪烁现象。在LED的PWM调光控制下，LED的发光亮度正比于PWM的脉冲占空比，在这种调光控制方法下，可以在高度调光比范围内保持LED的发光颜色不变。采用PWM的LED调光控制的调光比范围可达3000∶1。

线性LED调光控制方法采用模拟调光控制，在模拟调光控制下，通过调节LED的正向工作电流来实现LED的调光控制，其调光控制范围可达10∶1。如果要进一步降低LED的正向工作电流，则会使LED的发光颜色发生变化和不能准确调节控制LED的正向工作电流。



☺ PWM调光是通过控制LED灯具通电时间的占空比来进行调光的，其调光效果好，布线时比较麻烦。

☺ 1～10V（0～10V）调光方式其信号线易受线材长度和线材质量影响，可能会出现调光不均匀或亮度不一致的现象，布线成本较高。
☺ 切相（可控硅相控调光）调光布线简单，LED 驱动电源可以恒压或恒流，但要与可控硅相控调光器（前沿或后沿切相调光器）配合。
☺ LED 调光器（dimmer）是指改变 LED 照明灯具或 LED 光源的光通量、调节 LED 照明灯具照度水平的电气装置。
☺ LED 调光电源根据需要和不同地区选择不同认证，如 CE（EMC、LVD）3C、TUV、SAA、CB、FCC、UL 认证。要求 LED 调光驱动电源可以匹配调光系统和调光器。

4．LED 照明灯具调光系统简介

目前可以直接控制 LED 灯具系统的有可控硅、PWM、0～10V、DALI 控制、ZigBee 调光技术等。

可控硅调光电源分为恒压和恒流两种，珠海市圣昌电子有限公司生产的可控硅调光电源可以匹配欧洲生产的系列调光器、澳洲奇胜调光器、美洲路创调光器（前沿或后沿调光器皆可），无闪烁、线性平滑，达到很好的调光效果。同时可以与路创创艺眼、奇胜 C-BUS、快思聪等灯光系统完美匹配。恒流调光电源或恒压调光电源可以用 0～10V 或电阻调光器、PWM 调光器（1～10V 信号）及 DALI 信号实现调光。

上海欧切斯实业有限公司生产的 LED 驱动电源支持前沿切相和后沿切相调光器，可以与飞利浦、ABB、路创、西门子、西蒙、松下等多品牌系统兼容使用，实现平滑调光的效果。LED 驱动电源有 DMX512、0～10V 调光、可控硅调光控制、DALI 调光等。

0～10V（1～10V）调光系统在美洲国家使用比较广泛，DALI 控制调光系统在欧洲国家使用比较广泛。市面上调光器有可控硅调光器、0～10V 调光器、10V PWM 调光器、 ZigBee 无线（配合 WiFi-ZigBee 网关组网使用）。



☺ 1～10V 调光时，当调光信号电压在 1V 时最暗，10V 时最亮，在低于 0～1V 间灯灭。0～10V 调光时，1V 时依然会亮，10V 时最亮，直到 0V 时全灭。即 0～10V 调光如果调光器不调到 0V，不会全灭，灯具有功率消耗。
☺ 市面上部分 PWM 调光器（带遥控）只有 0～5V 信号输出，调光范围 0%～100%。与调光电源配套，要求把电源接收信号调整为 0～5V 调光即可。
☺ 0～10V 调光器最大负载功率为 200～300W 左右，如果对大量的 LED 照明灯具进行调光，要配套相关 0～10V 调光系统。

中国台湾明纬公司生产的 LCM 系列，可以通过拨码开关切换不同输出电流挡位。LCM-25（40、40U、60、60U）三合一调光，即 0～10V DC、PWM 信号或电阻调光。LCM-25DA（40DA、40UDA、60DA、60UDA）有 DALI 接口和按钮调光（Push Dim）功能。

深圳市和玛科技有限公司生产的 HGW401 是一款基于 IEEE 802.15.4、工作在 2.4GHz 全球免费频段的 WiFi-ZigBee 网关，WiFi 等无线网络接到 ZigBee 控制网关，通过监控软件

实现对 LED 灯具的远程智能化管理。HGW401 网关可与其他 ZigBee 模块、控制器或灯具配合实现智能化的控制。HGW401 网关需在控制终端上下载相关的应用软件，可实现定时、延时控制及远程控制功能。

无线 0～10V（1～10V）调光器是采用 ZigBee 无线模块，基于 IEEE 802.15.4 协议开发，工作在 2.4GHz 的 ISM 频段的 PWM 调光控制器，可以配合明纬、茂硕等多个知名品牌 LED PWM 调光驱动电源进行调光。配合 GPRS 无线网关、TRK-E-LINK 无线路由器，可使用手机、平板电脑远程控制。

DALI 系统基本上由主控、分控、总线电源组成，遵循 DALI 标准协议 IEC62386。DALI 调光电源分为 DALI 恒压和恒流驱动器，DALI 调光电源支持触摸调光、手动调光、计算机调光，调光平滑无抖动，0%～100%亮度调节。DALI 系统安装时，只要求主电源线与控制线隔离开，控制线无须屏蔽。



LED 调光驱动器目前也有可同时兼容 C-bus 或 DALI 智能调光系统的调光驱动，包括 PMW 或 0～10V 调光。平滑稳定光输出，消除市电频闪，使得 LED 照明灯具适宜用于拍照和摄像场合。

LED 照明调光器接线示意图如图 6-2 所示。

常规色温调光方法采用一个调光电源驱动两种高低色温 LED 光源（白光），采用共阳极的办法。通过调光电源驱动调节两种 LED 光源的驱动电流比例，来实现 LED 光源色温调节，这种调光调色温的 LED 驱动电源主要用于 LED 吸顶灯电源。



☺ 0～10V DC 调光电源，DIM 信号线一般超过 5m，超过 5m 建议使用导通性强、线径大的线材，最大限度地降低压降问题。

☺ 市面上 DALI 控制器部分有给总线供电功能，如控制器没有供电功能，需要外加 DALI 供电电源（DALI Power），安装时将 DALI 信号端与输出端接反，以免损坏控制器。

☺ DALI 信号线连接到控制器（DALI Master）的 DALI 总线上，在控制器扫描、分配地址后，即可对电源进行调光控制。

☺ 中国台湾明纬公司生产的 HLG 系列、HLG-C 系列、HVGC 系列、ELG 系列具有三合一调光功能，0～10V DC、PWM 信号或电阻调光。

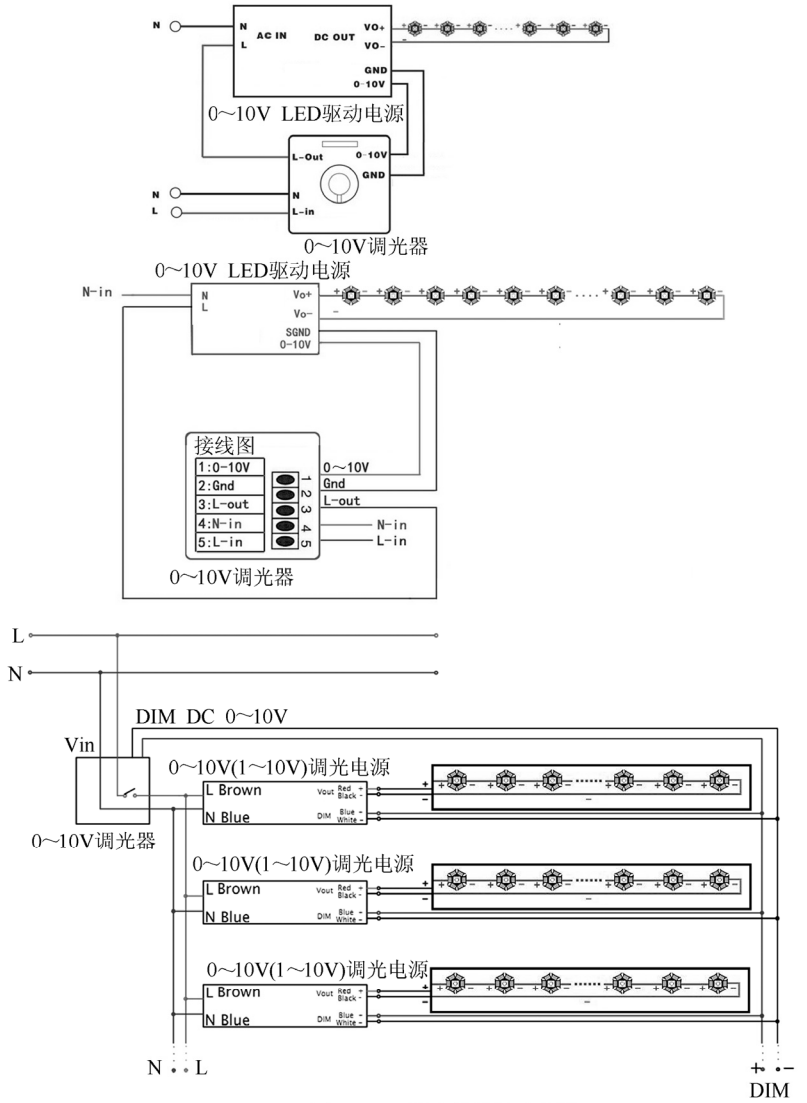
☺ DMX512 控制器选购时必须注意产品质量，并适合自己的实际需求，一定要有好的售后服务。

☺ LED 可控硅调光电源要与可控硅调光器配合，可控硅调光器的供应商有路创（Lutron）、快思聪（CRESTRON）、Control4、立维腾（Leviton）、邦奇系统（Dalitek）、城长（Citygrow）、亚奇胜（CLIPSAL）、永林（Lite-Puter）、HDL（河东）、聚辉（Koti）、泰创（Tantron）、日顺、飞利浦、欧司朗、LDS、ABB、施耐

德、西门子、JUNG、博科、Be Lichtregle、HelvarKNX/EIB 等。

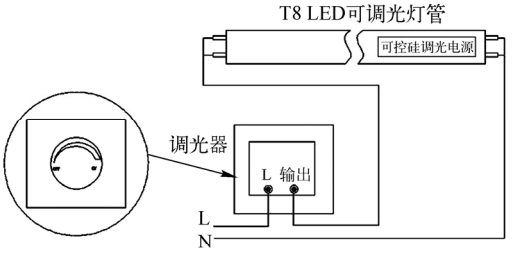
☺ 目前也有通过 DIP 拨码开关进行电流简易设置 LED 调光电源，符合 DALI 标准协议 IEC62386。调光方式支持 DALI、0 ~ 10V、可调电阻、PWM、Touch DIM。

☺ 0 ~ 10V DC 调光电源在美国应用比较广泛，在欧盟调光方式主要是可控硅调光及 DALI 调光。

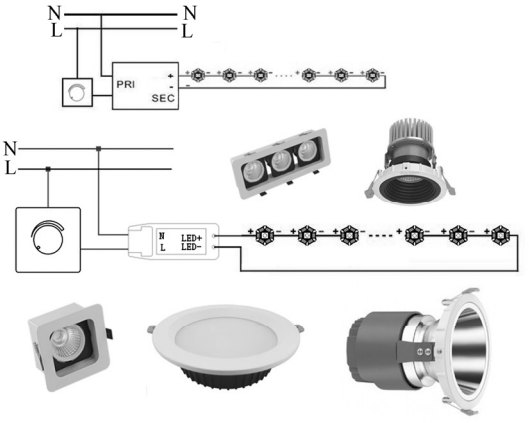


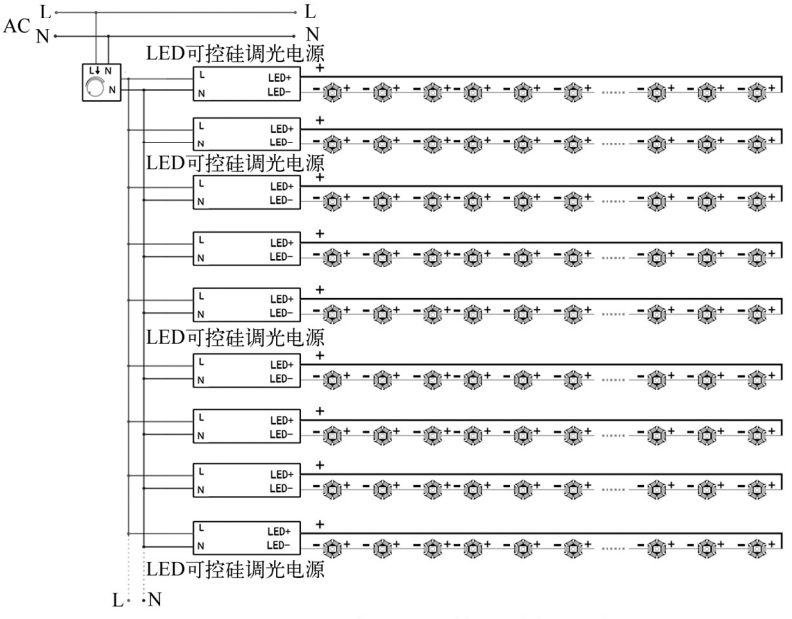
（a）0～10V调光器接线示意图

图 6-2　LED 照明调光器接线示意图



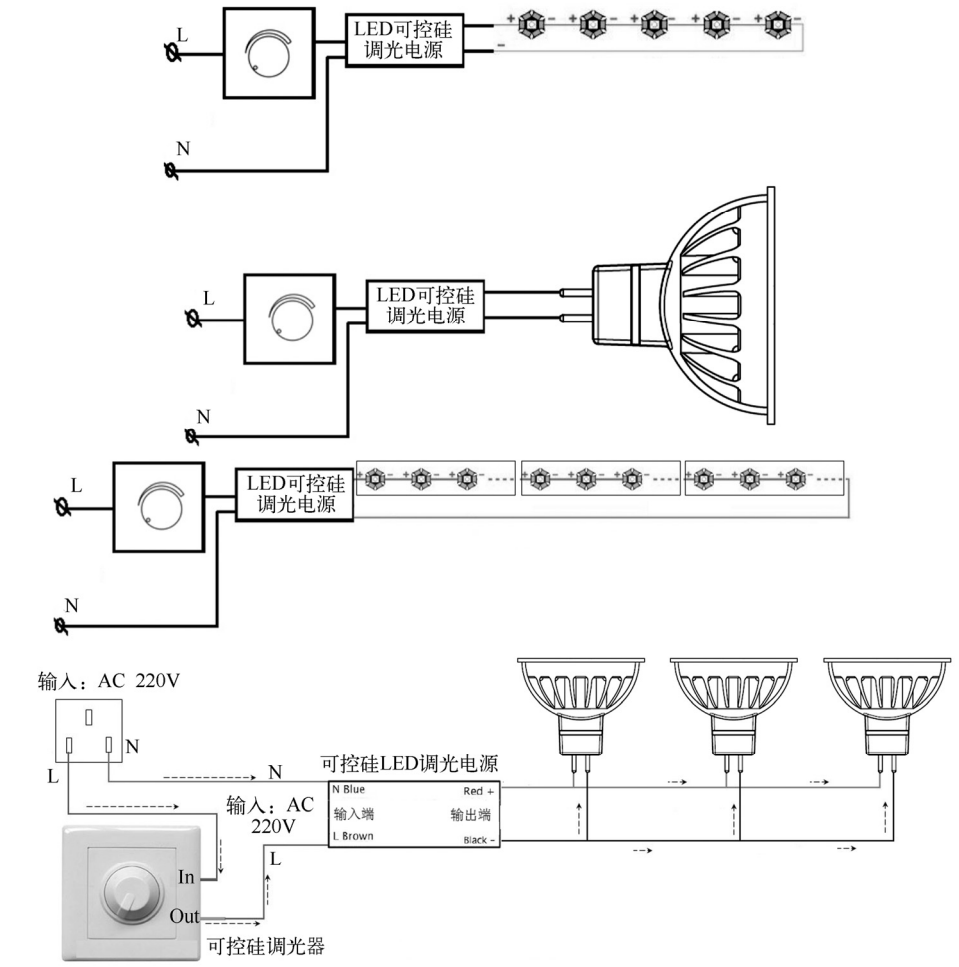
（b）T8灯管可控硅调光接线示意图



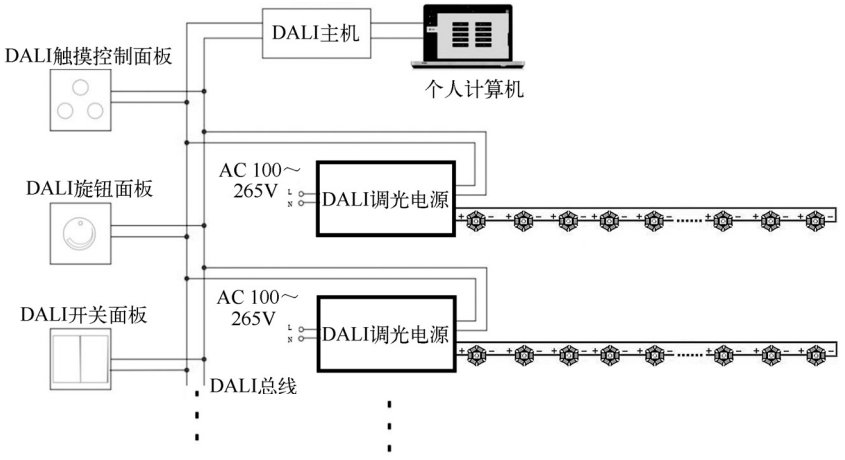


（c）LED照明灯具可控硅调光接线示意图

图 6-2　LED 照明调光器接线示意图（续）



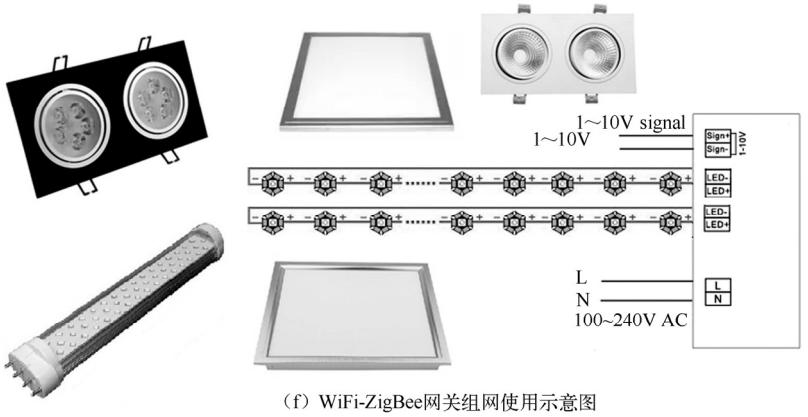
（d）MR16射灯可控硅调光接线示意图



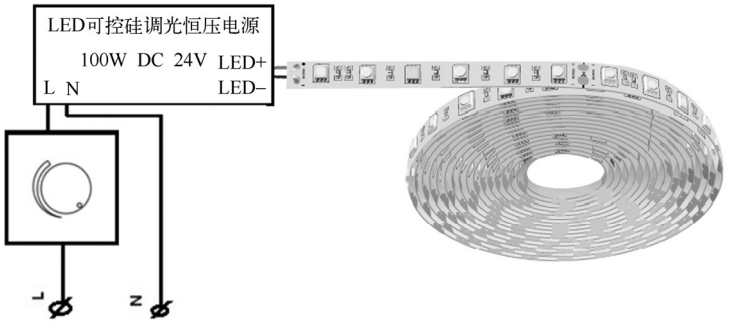
（e）DALI系统调光接线示意图

图 6-2　LED 照明调光器接线示意图（续）

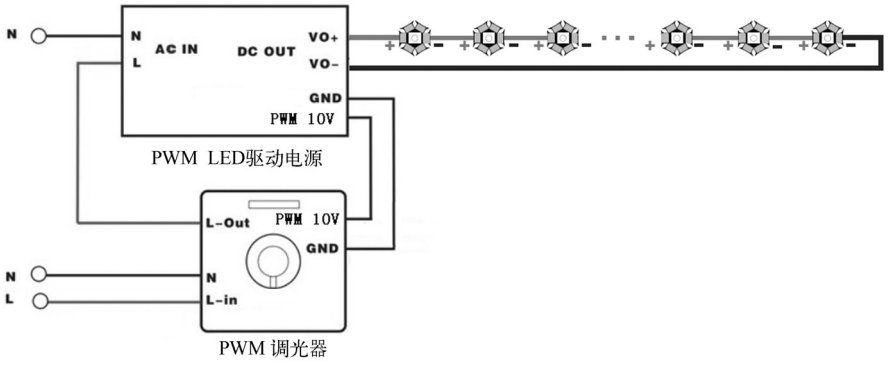




（f）WiFi-ZigBee网关组网使用示意图

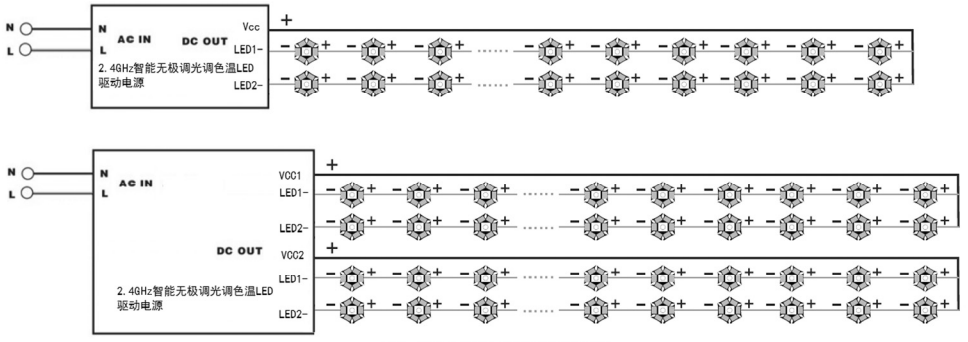


（g）可控硅调光恒压电源



（h）PWM信号调光

图 6-2　LED 照明调光器接线示意图（续）



（i）无极调光调色LED灯具

图 6-2　LED 照明调光器接线示意图（续）

6.2　LED 台灯的设计与组装

6.2.1　LED 台灯性能简介

1．LED 台灯的特点

LED 台灯产品应用是一个多学科的融合，影响产品的因素很多，主要包括大功率 LED 的性能和参数、工业造型设计、光学设计、热设计、电路设计、结构设计、加工工艺、生产工艺等环节。在设计和生产过程中必须充分考虑相关因素，任何一个环节出现偏差都会影响产品的性能和效果。

LED 是典型的绿色照明光源产品，作为国家绿色照明推广使用的产品，用白光 LED 作为 LED 台灯光源是必然选择。其产品特点如下。

（1）效率高。LED 的发光效率已超过 100lm/W，更由于 LED 的光谱几乎全部集中于可见光频段，所以其光效率远远大于白炽灯并正在赶上节能灯和荧光灯（传统日光灯）。

（2）光线质量高。由于光谱中没有紫外线（UV）和红外线（IR），故没有热量，没有辐射，不会给人眼带来负担，长时间阅读或工作不会有眼睛发疼、发胀的现象。

（3）显色性好。与荧光灯相比，LED 台灯的显色指数高，通常在 80 以上，R9>0，色容差≤5。

（4）维护成本低、寿命长。光通量半衰期寿命超过 5 万小时以上，一般正常使用 10 年以上。抗冲击和抗震能力强，没有钨丝、玻壳等易损坏的部件，非正常“报废”的可能性很小。

（5）体积小。可以使灯具小巧精致，更适合不同的使用场所。LED 台灯还能随心所欲地变换不同的方向。

（6）与蓄电池配合很容易把 LED 台灯做成 LED 应急灯。在停电或紧急情况下，可帮助人们疏散和照明。

（7）绿色环保。废弃物可回收，没有污染；不含汞（水银）。

2．电源适配器的选用和要求

LED 驱动方式有多种，主要有恒压与恒流。在 LED 台灯产品中采用低压恒流源驱动，这是目前比较理想的 LED 驱动方式，它能避免 LED 正向电压的改变而引起电流变动，同时恒定的电流使 LED 的亮度稳定。一般采用交流电驱动的光源具有频闪效应，会使视觉神经受到不断变化的光强刺激而容易疲劳，采用恒流驱动的 LED 能够发出稳定的光线，完全无频闪现象，使视觉感到十分舒适。LED 台灯为安全低电压输入，避免了普通灯具因电路故障带来的安全事故。目前的 LED 台灯大多数都是采用恒压源加恒流源的方式，电源采用电源适配器。



- ☺ 将电源适配器插入 AC 220V 交流端，输出端（USB 接口）接入输出电流对应的负载，老化时间为 24h；用温度测量仪测量老化过程中电源适配器外壳的温度，其温度小于 75℃。
- ☺ 用拉力计测量电源适配器的拉力，主要为转换插头插入、硬拔出力。要求转换插的插入力≤5kg，硬拔出力为 10±2kg。
- ☺ 频率为 10Hz，加速度为 1.05*g*，振幅为 7mm.p/p，按 *X*、*Y*、*Z* 的顺序对电源适配器进行垂直方向的测试，每个面至少 30min 振动测试。振动测试后，电源适配器的结构及功能没有异常。
- ☺ 电源适配器进行耐压测试，测试耐压 AC 4*U*+2000V（AC 3000V），测试时间 60s，泄漏电流 5mA，测试目标为输入端与外壳之间及输入端与输出端之间。
- ☺ 电源适配器丝印内容、位置和字体要求正确，不能有丝印偏移、模糊、断线、残缺等现象，丝印颜色不可有明显的色差。

3．灯具高效能的光学系统

一个优秀的照明灯具要有高效能的光学系统，而高效能的光反射器是最有技术含量的部件之一。它具有高度的反射性、良好的控光角度和反射光线的均匀度。反射器经过阳极氧化处理后反射效率高、耐久性好；用透光率高的混光材料做灯罩，既保持了光学系统的高效率，又减少了眩光。在平时选购 LED 台灯作为学习、工作照明用具时，应特别注意照明灯具的眩光问题，不要让光线直线投射于眼睛。因为光线直接投射于眼睛时，眼睛会有畏光感而容易疲倦，且瞳孔缩小而感觉周围变暗，进而导致视线不清。用眼卫生首先应从高质量的照明灯具开始，这就要求在选购 LED 台灯时更要注意发光质量。

4．散热系统

散热是影响台灯 LED 使用的主要因素，大功率 LED 应用过程中器件和灯具的散热显得很重要。应对 LED 封装和二次散热进行充分设计，采用中空带翅金属散热体和金属材质的灯罩散热，降低 LED 光源的热阻，获得良好的整体热特性。

5．整体结构的造型设计

优秀的灯具不仅有高品质的 LED、高品质的电气组件、高效能的反射器及合理的结

构，还要有好的产品造型设计。在 LED 台灯产品设计时就要充分利用 LED 的特点和优势，在满足实用需求和最大限度地发挥光源功效的前提下，对灯具进行小型化设计，使灯具在外观造型上具有美观、舒服、耐用等美学效果，又能够与环境相协调。

6．LED 台灯技术指标

LED 台灯是用金属结构配合大功率发光管制成的。该产品能够结合装饰和照明效果，性能稳定，安全环保，耗能极低，是非常理想的下一代环保台灯产品。

（1）节能。光源采用大功率 LED，能耗低，效率高。

（2）环保。无污染、紫外线、红外线和热辐射。

（3）保健护眼。采用低压恒流电源，无频闪，无眩光，照射面积广，亮度均匀，视觉效果好，真正做到了发光柔和、平稳、连续，接近自然光，是真正的理想光源。

（4）经久耐用。LED 灯的寿命长达 50000h。采用金属结构，金属质感强，结实耐用。

（5）照度充足。在台灯发光部位距桌面 350～400mm 条件下，桌面照度可达到 500lx 以上。

（6）蓄电池供电。电源适配器与蓄电池配合，很容易把台灯做成应急灯。在停电或紧急情况下，能帮助人们疏散和照明。

7．LED 台灯的市场现状

目前市场上的台灯按其种类可分为四种：第一种是普通的白炽台灯，第二种是卤素台灯，第三种是荧光台灯，第四种是 LED 台灯或 LED 灯丝灯构成的 LED 台灯。采用普通的白炽灯泡或卤素灯的台灯，其优点是价廉，发光的连续性好，但耗能多，尤其在夏天会使人感到热。其灯丝发光较集中，功率稍大会产生眩光，功率稍小又会造成照明度不够，而且频闪问题严重。另一种普通荧光灯的台灯，因荧光管发光面较大，从而被照射面采光较均匀，被照射物后影形较小，对眼睛有较小干扰。但其显色指数低，且其频闪效应使眼睛容易疲劳。

触控式台灯的原理是内部安装电子触摸式 IC，与台灯触摸处电极片形成控制回路。当人体碰触到感应电极片时，触摸信号由脉动直流电产生脉冲信号传送至触摸感应端，接着触摸感应端会发出触发脉冲信号，由此可控制开灯；如再触摸一次，触摸信号会再由脉动直流电产生脉冲信号传送至触摸感应端，此时触摸感应端就会停止发出触发脉冲信号。当交流电过零时，灯自然熄灭。不过有时停电后或电压不稳也会有自行亮起的情形，如果触摸接收信号敏感度极佳的纸张或布也是可以控制的。



- ☺ 根据国家标准 GB/T 9473—2008《读写作业台灯性能要求》，用于读写作业的台灯电源线外露长度不得小于 1.8m。
- ☺ 读写作业台灯性能要求通过 3C 认证，产品的安全、电磁兼容性（EMC）、环保等方面符合强制要求。
- ☺ 一般认为台灯的色温在 4000K 比较适宜，避免产生频闪，要求直流电来供电，目前采用电源适配器。
- ☺ LED 台灯检测方法或标准可以参照国家标准 GB/T 9473—2008《读写作业台灯性能要求》。

☺ LED 台灯电源线进行 25 次 20N 拉力测试，首次拉力测试完后对电源线进行标识，后续测试电源线位移不超过 2mm。内部接线与外部接线的线径符合安规要求。

☺ 对 LED 台灯进行蓝光危害相关测试，达到相关的标准 IEC62471《评估光源和灯具的蓝光危害》。

☺ LED 台灯是可移动式通用灯具，属于 3C 认证范畴。LED 台灯在销售前需取得 3C 证书，LED 台灯的功率在 25W 以上或以下时，需要分开两个系列来申请 3C 证书。

☺ 从 2015 年 9 月 1 日起，LED 台灯配置的电源适配器必须取得 3C 认证才能销售。LED 台灯检测国家标准有 GB/T 9473—2008《读写作业台灯性能要求》、GB 7000.1—2015《灯具 第 1 部分：一般要求与试验》、GB 7000.204—2008《灯具 第 2-4 部分：特殊要求 可移式通用灯具》、GB 17743—2007《电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法》和 GB 17625.1—2012《电磁兼容 限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流≤16A）》等。

☺ LED 台灯的外部螺丝无滑丝、浮高、歪斜、漏打、规格不符、生锈氧化等现象。

☺ LED 台灯包装纸箱尺寸、规格、纸质、字唛符合文件要求；包装方法无错误，无漏装、错装。

☺ LED 台灯外观无明显色差、压伤、氧化、砂点、喷涂不均、划伤，表面不允许出现有感划伤、拉痕及指印。

☺ LED 台灯耐火试验符合国家标准，用温度为 650 ± 50℃的明火对试样燃烧 30s，样品的任何火焰或燃烧物应在移开灼热丝 30s 后熄灭。落下的燃烧物或熔化物不应使水平铺置在样品下 200 ± 5mm 的薄纸着火。

☺ 用户在选择 LED 台灯时，都应该把 3C 认证作为一项指标。LED 台灯色温要求在 4000K 左右，显色指数在 83 以上，R9>0。好的 LED 台灯可以实现调光调色温的功能。

☺ LED 台灯的频闪测试可以参照 CQC 中心的认证规则及标准，如 CQC1601—2013《视觉作业台灯认证技术规范》与 CQC16-465316—2013《视觉作业台灯认证规则》。

6.2.2 触摸开关 LED 台灯参数说明

1．触摸开关 LED 台灯产品描述



图 6-3 触摸开关 LED 灯的外形

高功率 LED 触摸台灯是新一代的护眼台灯，采用高功率 10 颗贴片 LED，照明光效率高，超节能，效率可以达到 80%～90%。在同样亮度下其耗电量仅为普通白炽灯的 1/0～1/8；没有紫外线（UV）和红外线（IR），属于典型的绿色照明光源；耐用性强，寿命长，响应时间短，外壳采用高级 PC 管，可抗挤压，不易碎，并适应频繁开关及高频运作的场合。触摸开关 LED 灯的外形如图 6-3 所示。

2．特点

（1）造型。造型独特可爱，线条优美流畅，红色部分即为触摸开关。

（2）环保。发光源不含汞等有毒重金属，绿色照明光源，真正的无频闪，光线柔和、护眼，为不闪烁的暖色白光色温。

（3）护目。直流供电，真正的无频闪，4000～4500K 的色温接近于自然光，光线柔和，让眼睛不受累。

（4）低耗。耗电量仅为 5W，亮度达到普通白炽灯泡（40W）的亮度。

（5）不发热。LED 灯珠本身是不发热的，发热的是线路板。LED 台灯在使用过程中其线路板温度仅有 28℃，是目前同等功率 LED 台灯中最低的。

（6）耐用。LED 使用寿命长达 50000h，无须更换灯泡。

（7）安全。电源适配器设计，恒流电源，DC 12V 直流供电，零辐射。

3．产品参数

☺ LED 颗数：10 颗（2835 0.5W）。
☺ 色温：4000～4200K。
☺ 开关：触摸式。
☺ 功率：5W。
☺ 输入电压：AC 200～240V。
☺ 显色指数（Ra）：85。
☺ 光通量：>500lm。
☺ 规格：152mm×170mm×392mm。
☺ 净重：0.58kg。
☺ 外壳材料：ABS。
☺ 角度调整：灯头可上下 20°调整。

6.2.3 触摸开关芯片

1．ADA01 芯片概述

ADA01 芯片是一款单通道触摸感应 IC，具有独特的电容感应式触摸算法，OUT0 智能信号输出（ON/OFF），OUT1、OUT2 可直接驱动 LED 作为背景光显示，广泛适用于 ON/OFF 开关控制类电子产品。

本产品的特点和优势如下。

（1）可在有介质（如玻璃、亚克力、塑料、陶瓷等）隔离保护的情况下实现触摸功能，安全性高。

（2）应用电路简单，外围器件少，加工方便，成本低。

（3）抗电源干扰及手机干扰特性好。EFT 可以达到 4kV 以上；在近距离、多角度手机干扰情况下，触摸响应灵敏度及可靠性不受影响。

（4）应用范围：台灯、节能灯控制、墙壁开关、机箱电源开关，以及其他开关信号控制的应用中，如安防设备、智能家居控制、智能控制面板等。

2．ADA01 芯片特性简介

☺ 典型工作电压：2.4 ~ 5.5V。
☺ 工作频率：DC 20MHz。
☺ 触发传感器：1 通道。
☺ 内置上电复位（POR）。
☺ 内置低电压复位（LVR）。
☺ 采用低功耗的 CMOS 技术。

3．ADA01 芯片标准封装（DIP8 封装）

DIP8 封装如图 6-4 所示。

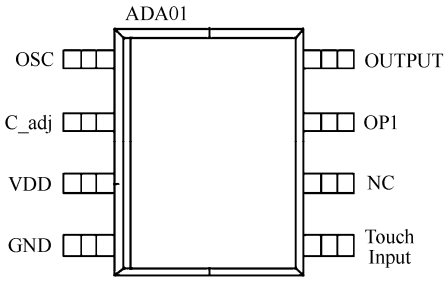


图 6-4　DIP8 封装

4．ADA01 芯片引脚描述（见表 6-1）

表 6-1　ADA01 芯片引脚描述

引 脚 序 号	引 脚 名 称	用　法	功 能 描 述
1	OSC	I	频率电阻输入端，默认使用 27kΩ，可选范围：10～400kΩ
2	C_adj	POWER	灵敏度调整电容，默认使用 2000pF(202)，可选范围：2～100nF
3	VDD	POWER	电源正端
4	GND	POWR	电源地端
5	Touch Input	I	触摸传感器信号输入端
6	NC		悬空
7	OP1	I	连接至 VDD
8	OUTPUT	O	控制输出端，高电平有效

5．ADA01 芯片电气特性（见表 6-2）

表 6-2　ADA01 芯片电气特性

工作电压	3V
工作电流	<300μA
输入高电平	>2/3V_{DD}
输入低电平	< 1/3V_{DD}
输出高电平电流	<5mA
输出低电平电流	<10mA
工作温度范围	–20～70℃
存储温度范围	–50～100℃

6．ADA01 应用电路

ADA01 应用电路如图 6-5 所示。

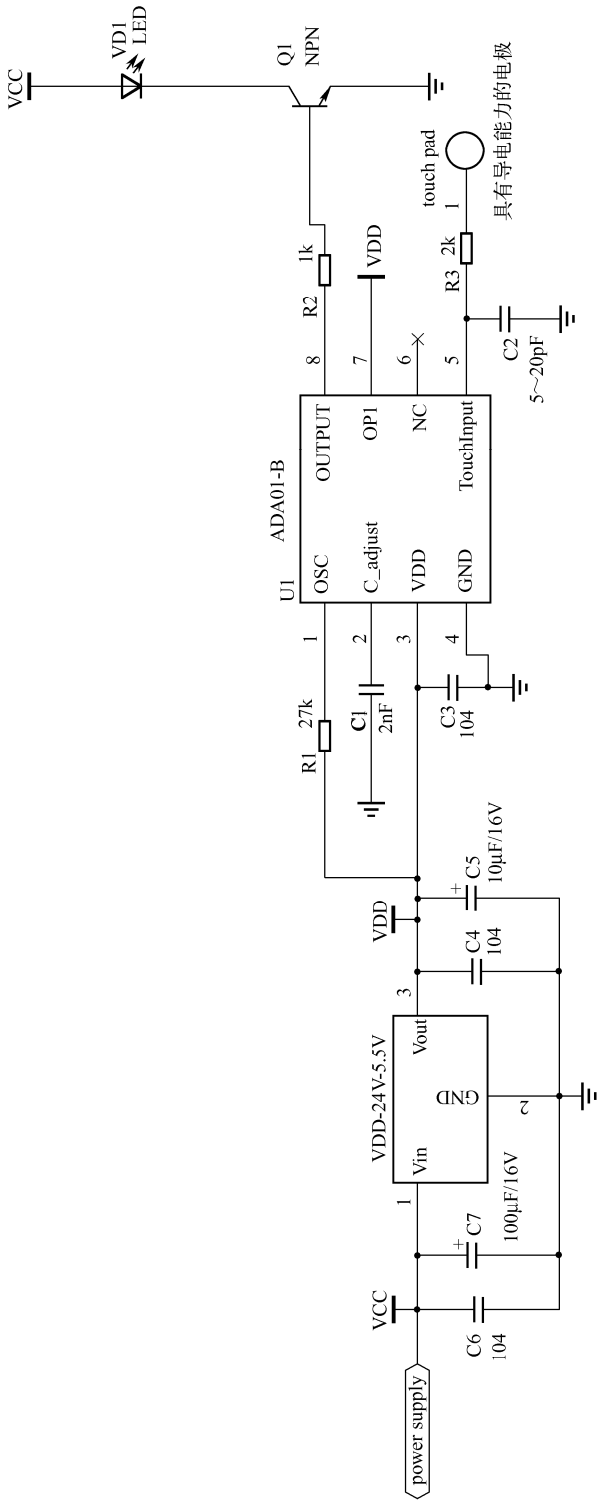


图6–5　ADA01应用电路

7．应用说明

（1）C2 电容可不接，当灵敏度比较高时，可以通过调整 C2 电容来降低灵敏度，R3 电阻建议保留。

（2）当触摸介质比较厚时，单个触摸点的面积要相对大一些，比如用 3mm 以上的非导电介质时，单个按键的触摸面积最好在直径为 15mm 左右。

（3）并不是电容越大就越灵敏，不合适的电容会导致过灵敏或反应迟钝，调整依据以手指刚好接触到触摸介质有反应为最佳。如果需要用力压才有反应，说明灵敏度不够；如果还没有接触到介质就有反应，说明灵敏度过高。

8．触摸控制 PCB 制作

PCB 的制作经验总结如下。

（1）如果触摸面板与 PCB 之间的间距比较宽，不方便直接紧贴，则触摸电极可以在单面 PCB 上放置带金属片的弹簧、带引线的铜箔纸、带引线的焊片，或其他能够导电的材质。

（2）如果触摸面板与 PCB 之间的距离可以采用双面胶直接贴合固定，则将 PCB 做成双面板或单面板（根据产品结构的需要而定）。这样触摸电极就可以直接使用 PCB 上面的铜箔焊盘。

（3）如果是双面 PCB，则触摸电极的覆铜点（即触摸键盘）与触摸点到 IC 引脚的连线建议排布在不同的板层，通过过孔连接（主要是因为有些应用可能会触摸到触摸输入通路的连线部分）。

（4）触摸电极到 IC 引脚的走线尽量细、短（即触摸输入通路路径越短越好）。

（5）触摸电极的覆铜点大小建议做到人手与键盘的最大接触面积。

（6）触摸电极的平面与介质接触部分要尽量保持平整，使介质与触摸电极完全接触。

（7）触摸键盘形状可按实际应用而定，不过要尽量做到手指能方便操作的接触面积。

（8）如果供给触摸 IC 的电源存在较强杂音，则有可能引起触摸面板的工作异常，对此建议客户单独使用一颗 LDO 给触摸 IC 供电（低于 2.55V，触摸 IC 可能会复位，如果电压长期处于超低电压状态，则触摸 IC 可能无法正常工作）。

9．按键（触摸电极）设计

按键的外形决定了硬件电路中触摸电极（TouchPAD）的位置，但并不决定相应触摸按键的形状和大小，两者的触摸面积可以不相等。触摸按键类似于 PCB 图中的焊盘，其中铜箔的电气特性会更好些。

（1）按键的形状。可以是圆、椭圆、正方形或长方形等几何形状（根据实际经验，在触摸面积比较大的情况下，圆形和正方形的特性最好）。

（2）按键的大小。面积不宜太小，尽量不小于手指尖直径，否则实际操作不方便（根据实际经验，一个手指头能全部覆盖的面积不会超过 15～20mm^2）。

（3）按键的间距。间距不宜太窄，建议相邻触摸点之间的边缘间距应在 2mm 以上。

（4）触摸电极（TouchPAD）。

☺ 0.5 ~ 2mm 的触摸介质 ——触摸电极的直径为 3 ~ 20mm（可根据面板的尺寸选择合适的尺寸）。

☺ 2～5mm 的触摸介质 ——触摸电极的直径为 5～20mm。

☺ 5～10mm 的触摸介质 ——触摸电极的直径为 12～25mm。

10．PCB 布线

（1）触摸电极 TouchPAD 到 IC 触摸引脚的布线（即触摸输入通路的走线）线宽不要超过 0.2mm（理论上，触摸输入通路的布线越细越好）。

（2）放置触摸 IC 的层不需要铺地。

（3）触摸电极 TouchPAD 层可以铺地；但如果触摸介质比较厚（如 5mm 亚克力），建议两面都不要铺地。

（4）如果有铺地，则地线与触摸电极 TouchPAD 之间的间距要大于 0.6mm。

11．触摸面板设计

1）材质

☺ 多点触摸（多个触摸电极）：塑料、玻璃、陶瓷、亚克力、ABS、木片等非金属材料皆可。

☺ 单点触摸（1 个触摸电极）：任何材质，金属及塑料、玻璃、陶瓷、亚克力、ABS、木片等非金属材料皆可。

2）介质厚度

☺ 有效触摸的面板厚度和触摸按键面积有一定关系。

☺ 在厚度增加很大的情况下，触摸按键的直径也需相应增加，以保证灵敏度不受影响。

☺ 在触摸按键面积一定的情况下，可以通过调节感应灵敏度，来满足面板厚度的要求。

☺ 感应灵敏度可以通过软件和外部电路调节。

12．面板组合设计

一般来说，感应面板使用独立的双层板，所有组件均摆在感应面板的一面上，感应面板另一面以亚克力胶（如 3M HBM 系列）将感应面板紧贴在产品面板的内侧。产品面板内侧最好是平面，若有咬花以致有凹凸面，则最好以非导电材质将它填平再贴上感应面板。



表面的镀层如果是金属，则表面的电阻阻值必须在 20MΩ以上。

6.2.4 5W 触摸 LED 台灯的设计

台灯是家家户户都在使用的普通灯具，高亮度的 LED 光源因其制造技术突飞猛进，生

产成本又节节下降，而成为高亮度、高效率、省电、无碳排放的照明光源。

1．LED 台灯工作原理

遵循安全第一的民用电器的设计理念，LED 光源是一种低电压、直流恒流源的发光器件，不能用 100～220V 的交流高压电直接点亮，因此，LED 台灯方案的设计思路是，首先将高压的交流电变换成低压的直流恒流源。使用最经济有效的方法降压和进行交直流变换是设计的首要考虑，当今便携式电子产品使用交流电源的交直流降压变换器——适配器（Adapter）就成了既经济实惠又现成、好用的首选。适配器的输出电压要求稳定在 DC 18V 1A，输出电流要根据 LED 光源的功率来选择，一般给予 30%的余量。以 5×1W 的白光 LED 光源为例，1W 的白光 LED 的标准工作电流应为 350mA，因而 3 个 LED 光源串联其电路需要的电流也是 350mA。考虑到延长 LED 寿命和降低光衰，设计为 300～330mA，不会明显影响 LED 发光的亮度，所以适配器的输出电流应选 750mA～1A 的。

2．LED 台灯方案

AC 220V 经适配器在灯具外的安全降压变换，向 LED 台灯提供稳定的 18V 直流电源，在台灯底座壳内安置恒流源电源板，将直流电压变换成稳定的直流恒流源，以满足 LED 光源发光的技术要求。在直流恒流源前可加一电源开关，以便在台灯不用时关断直流电源，但不能关断 220V 交流电源，因此不用时应从墙上取下适配器的电源插头，这也是这个实用方案的唯一“缺点”。如不想采用机械开关，并想要一个更有创意的卖点，则可选用电子触摸开关，如手指轻点可实现台灯的开、关；由于电子技术的快速进步，电子触摸开关如今已是一个低成本的器件。

3．LED 光源工作原理

LED 光源工作的主要参数是 V_F、I_F，其他相关的是颜色、色温、波长、亮度、发光角度、效率、功耗等。LED 是一个 PN 结二极管，只有施加足够的正向电压才能传导电流，V_F 正向电压是为 LED 发光建立一个正常的工作状态，I_F 正向电流促使 LED 发光，发光亮度与流过的电流成正比。白光 LED 标称电压 V_F 为 3.4±0.2V。LED 光源在大批量生产时，每一批 LED 的 V_F 具有一定的离散性，为了客户使用时需要的一致性，LED 出厂时必须按不同的 V_F 分挡出售；客户订购时同一批灯具需用的 LED 光源必须选用同一挡 V_F 或相邻挡的，否则会导致同一批生产的 LED 灯具的亮度有差异；LED 工作电流 I_F 按应用需要选用，不同的电流挡不能混用。

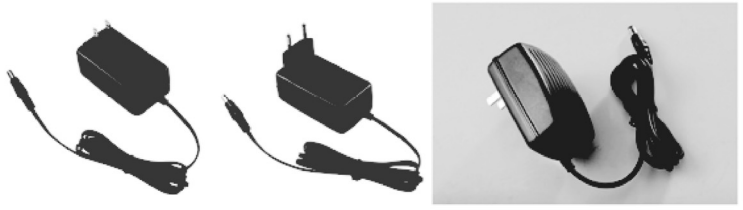
4．LED 电源电路（电源适配器）

电源适配器（Power Adapter）是小型便携式电子设备及电子电器的供电电源变换设备，一般由外壳、电源变压器和整流电路组成，按其输出类型可分为交流输出型和直流输出型；按连接方式可分为插墙式和桌面式，广泛配套于电话子母机、游戏机、语言复读机、随身听、笔记本电脑、蜂窝电话等设备中。在电源适配器上都有一个铭牌，上面标示着功率、输入/输出电压和电流等指标。电源适配器的外形如图 6-6（a）所示。LED 台灯电源适配器输

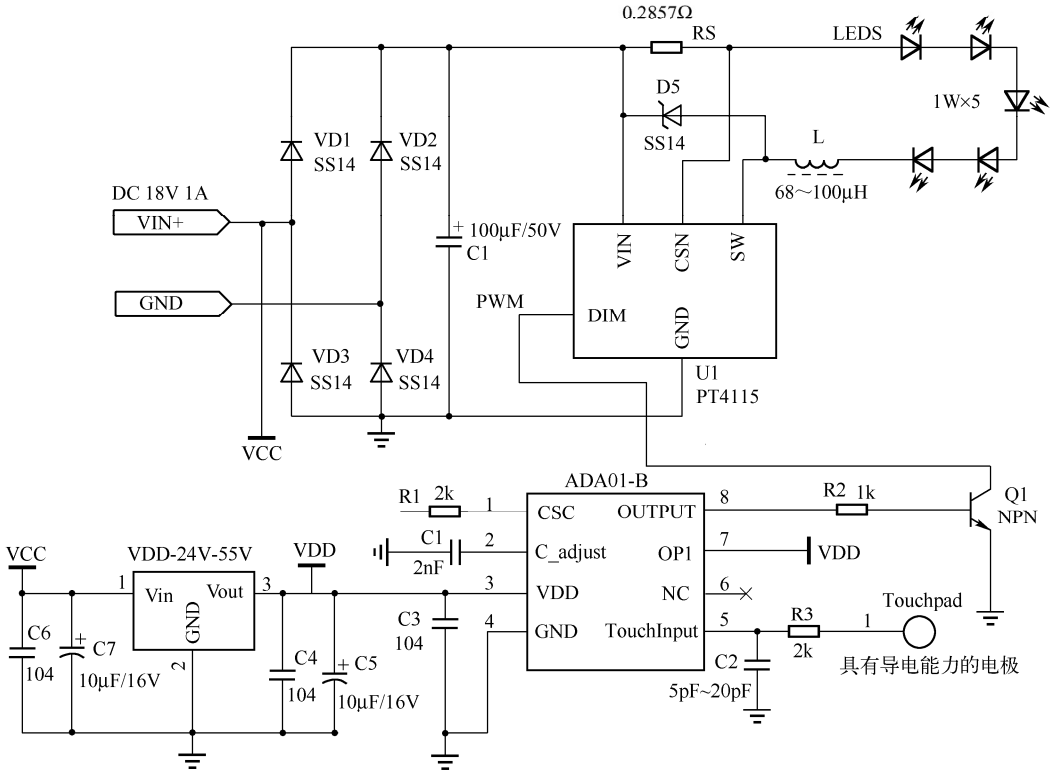
入电压为 DC 18V，电流为 1A。

5．触摸开关 LED 台灯的电路原理图设计

基于 PT4115 组成的 5W 触摸开关 LED 台灯驱动器原理图如图 6-6（b）所示。



（a）5W触摸开关LED台灯电源适配器



（b）5W触摸开关LED台灯驱动器原理图

图 6-6　5W 触摸开关 LED 台灯电源适配器与驱动器原理图

6.2.5　1 键触摸 LED 灯无级调光 ADA01AL 芯片介绍

1．ADA01AL 芯片概述

ADA01AL 是一款用于 LED 灯光亮度调节及开关控制的单通道触摸芯片。ADA01AL

具有如下功能特点和优势：

☺ 灯光亮度可根据需要随意调节，选择范围宽，操作简单方便。

☺ 可在有介质（如玻璃、亚克力、塑料、陶瓷等）隔离保护的情况下实现触摸功能，安全性高。

☺ 应用电压范围宽，可在 2.4～5.5V 之间任意选择。

☺ 应用电路简单，外围器件少，加工方便，成本低。

☺ 抗电源干扰及手机干扰特性好。EFT 可以达到 ±2kV 以上；在近距离、多角度手机干扰情况下，触摸响应灵敏度及可靠性不受影响。

2．ADA01AL 芯片电气参数（见表 6-3）

表 6-3　ADA01AL 芯片电气参数

工作电压	3.3V
工作电流	700μA
输入高电平	$2/3V_{DD}$
输入低电平	$1/3V_{DD}$
输出高电平电流	5mA
输出低电平电流	9mA
工作温度范围	–20～70℃
存储温度范围	–50～100℃

3．ADA01AL 芯片标准封装（DIP8 封装）

ADA01AL 芯片 DIP8 封装如图 6-7 所示。

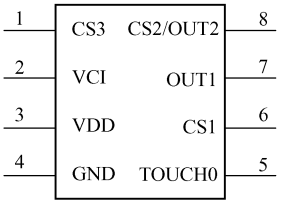


图 6-7　ADA01AL 芯片 DIP8 封装

4．ADA01AL 芯片引脚描述（见表 6-4）

ADA01AL 共设置了 6 种不同的输出模式。TOUCH0 触摸输入对应 OUT1 及 OUT2 灯光控制输出。CS2/OUT2 为输入/输出功能复用引脚，既可以用作调光输出 OUT2，也可以用作选项输入 CS2。共有 6 种功能可选，由 CS1、CS2、CS3 引脚上电前的输入状态来决定。本 IC 可以通过 CS1 和 CS2 来选择 IC 的工作模式，见表 6-5。

表 6-4　ADA01AL 芯片引脚描述

引脚序号	引脚名称	用　法	功能描述
1	CS3	输入	工作模式选择 3
2	VCI	输入	灵敏度调整电容，电容容量在 102～105 之间调整有效
3	VDD	电源	电源正端
4	GND	电源	电源地端
5	TOUCH0	输入	触摸传感器信号输入端
6	CS1	输入	工作模式选择 1
7	OUT1	输出	触摸控制输出端 1
8	CS2/OUT2	输入/输出复用	工作模式选择 2/触摸控制输出端 2

表 6-5　IC 的工作模式

序号	选择工作模式			功能说明
	CS1	CS2	CS3	
模式 1	VDD	NC	VDD	不带亮度记忆，点击为开关（ON/OFF），长按为无级调光，1 路输出
模式 2	VDD	NC	GND	带亮度记忆，点击为开关（ON/OFF），长按为无级调光，1 路输出
模式 3	VDD	OUT2	VDD	不带亮度记忆，点击为开关（ON/OFF），长按为无级调光，2 路输出
模式 4	VDD	OUT2	GND	带亮度记忆，点击为开关（ON/OFF），长按为无级调光，2 路输出
模式 5	GND	GND	VDD	轻触动作，三段调光，低→中→高（10%→40%→100%）
模式 6	GND	GND	GND	轻触动作，三段调光，高→中→低（100%→40%→10%）
注	NC 即悬空。 无级调光的 PWM 频率在 240Hz 左右 分段调光的 PWM 频率在 4KHz 左右			

功能说明：

（1）ADA01AL 应用电路（一），不带亮度记忆、不带亮度缓冲的触摸无级调光功能。

☺ TOUCH0 触控输入对应 OUT1 一路输出。初始上电时，灯为关灭状态。

☺ 点击触摸（触摸持续时间小于 550ms）时，可实现灯光的亮灭控制。一次点击触摸，灯亮；再一次点击触摸，灯灭，如此循环。灯光点亮或关灭时，无亮度缓冲，且灯光点亮的初始亮度固定为最高亮度。

☺ 长按触摸（触摸持续时间大于 550ms）时，可实现灯光无级亮度调节。一次长按触摸，灯光亮度逐渐增加，松开时灯光亮度停在松开时刻对应的亮度，若长按时间超过 3s，则灯光亮度达到最大亮度后不再变化；再一次长按触摸，灯光亮度逐渐降低，松开时灯光亮度停在松开时刻对应的亮度，若长按时间超过 3s，则灯光亮度达到最小亮度后不再变化，如此循环。

☺ 点击触摸和长按触摸可以在任何时候随意使用，相互之间功能不受干扰和限制。

（2）ADA01AL 应用电路（二），带亮度记忆、不带亮度缓冲单输出 LED 触摸无级调光功能。

☺ 在 LED 触摸无级调光功能的基础上增加了亮度记忆功能。即在电源不断电的情况下，每次点击触摸关灯时的亮度会被记忆，下次点击触摸开灯时会以此亮度作为初

始亮度。在电源掉电的情况下，重新上电后的第一次点击触摸开灯，初始亮度固定为最高亮度。

（3）ADA01AL 应用电路（三），不带亮度记忆、不带亮度缓冲双输出 LED 触摸无级调光功能。

☺ 在 LED 触摸无级调光功能基础上将输出由一路 LED 扩展为两路 LED。

☺ TOUCH0 触摸输入对应 OUT1、OUT2 两路 LED 输出。初始上电时，两路灯均为关灭状态。

☺ 第一次点击触摸，第一路灯（OUT1 输出驱动）亮；第二次点击触摸，第一路灯灭，第二路灯（OUT2 输出驱动）亮；第三次点击触摸，两路灯都灭。

☺ 当某一路灯亮时，长按触摸可对此灯亮度进行无级调光。调节方式同上。

☺ 当两路灯都不亮时，长按触摸会首先点亮第一路灯，然后再对此路灯进行无级调光。

（4）ADA01AL 应用电路（四），带亮度记忆、不带亮度缓冲双输出 LED 触摸无级调光功能。

☺ 在 LED 触摸无级调光功能的基础上增加了亮度记忆功能。即在不掉电的情况下，每次触摸关灯或切换到另外一路灯前的亮度会被记忆保存，下次触摸开灯或切换到此路灯时会以此被记忆的亮度点亮 LED。如发生断电，则重新上电后第一次触摸开灯或第一次切换到此路灯时亮度固定为最高亮度。

（5）ADA01AL 应用电路（五），LED 三段触摸调光功能。

☺ 初始上电时，灯为关灭状态。

☺ 每次点击触摸，依 OPTION 选择不同，灯光亮度按低亮度→中亮度→高亮度→灭依次循环变化。

（6）ADA01AL 应用电路（六），LED 三段触摸调光功能。

☺ 初始上电时，灯为关灭状态。

☺ 每次点击触摸，依 OPTION 选择不同，灯光亮度按高亮度→中亮度→低亮度→灭依次循环变化。

5．ADA01AL 应用电路（分别如图 6-8～图 6-13 所示）

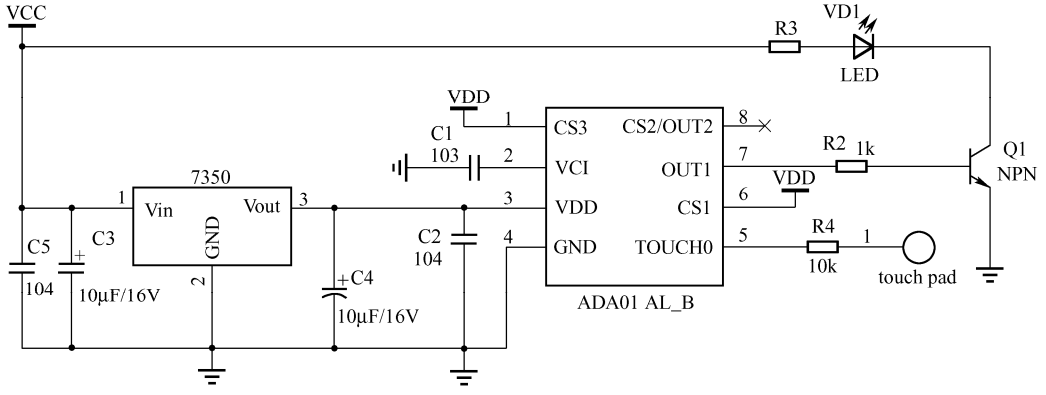


图 6-8　ADA01AL 应用电路（一）

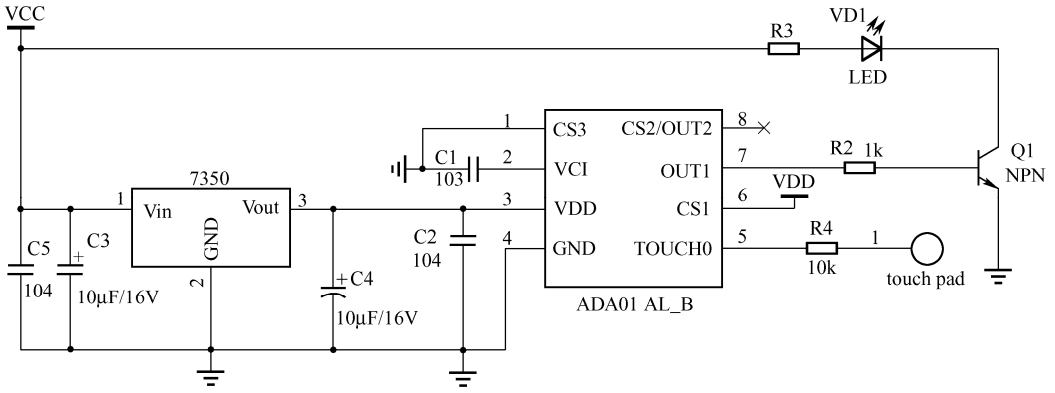


图 6-9　ADA01AL 应用电路（二）

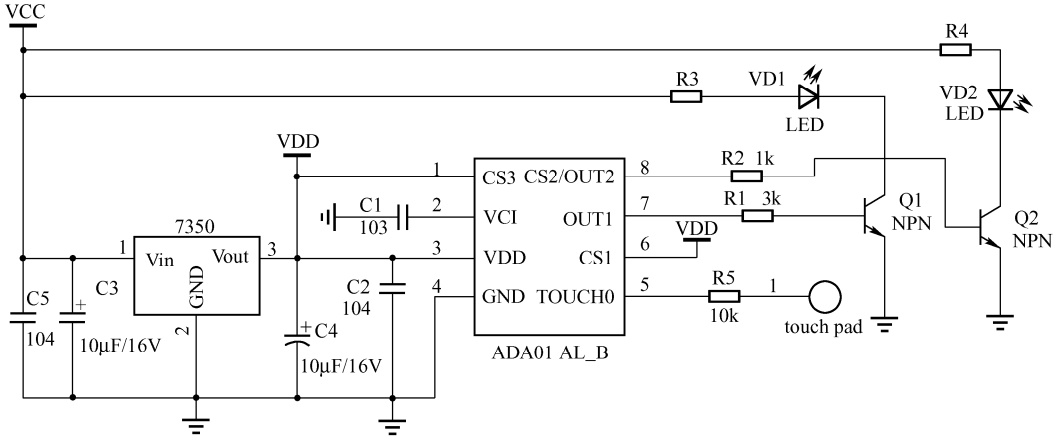


图 6-10　ADA01AL 应用电路（三）

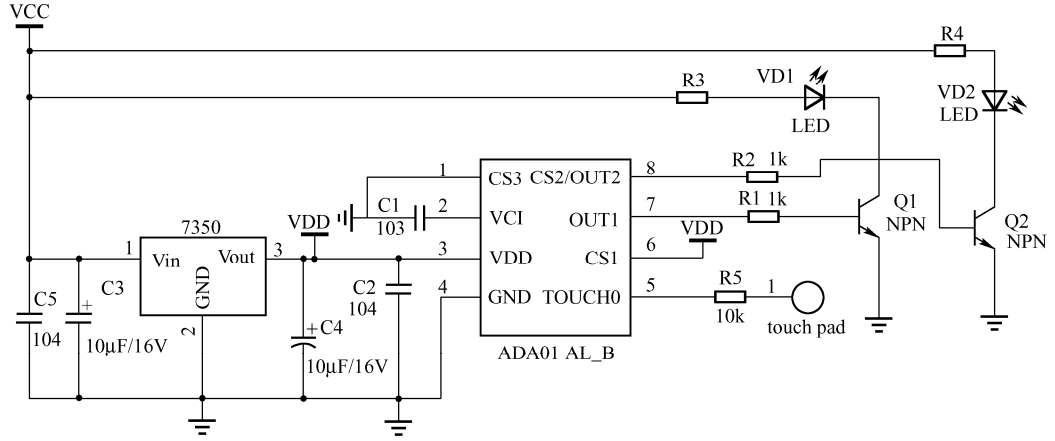


图 6-11　ADA01AL 应用电路（四）

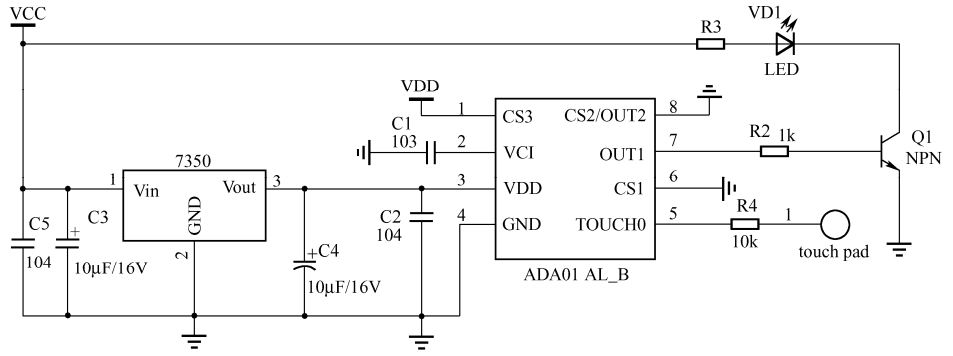


图 6-12　ADA01AL 应用电路（五）

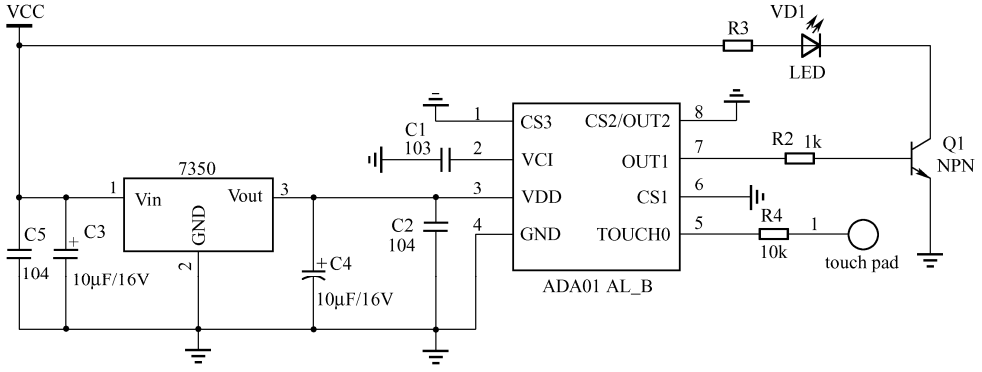


图 6-13　ADA01AL 应用电路（六）

6．应用说明

当介质材料及厚度等差异较大时，可通过调整 VCI 与 GND 之间的 C1 采样电容来调节触摸灵敏度。调整规律：电容值增大，灵敏度增高；电容值减小，灵敏度降低。不同的介质类型和介质厚度情况下对应的采样电容见表 6-6。

表 6-6　不同的介质类型和介质厚度情况下对应的采样电容

介 质 类 型	VCI 与 GND 之间的 C1 采样电容
	器件类型（建议使用温漂系数小、稳定性好的电容）
直接触摸金属外壳	103～104（参考值：333）
3mm 以内亚克力玻璃	472～153（参考值：103）
3～6mm 亚克力玻璃	103～273（参考值：203）
6～10mm 亚克力玻璃	203～104（参考值：473）
注：具体应根据实际应用的 PCB 和模具外壳相结合来调整	



不建议使用瓷片电容作为灵敏度电容，可选用涤纶电容、贴片电容或其他温漂较小的电容。

7．无级调光 LED 台灯的电路原理图设计

基于 PT4115 组成的 5W 无级调光 LED 台灯驱动器原理图如图 6-14 所示。

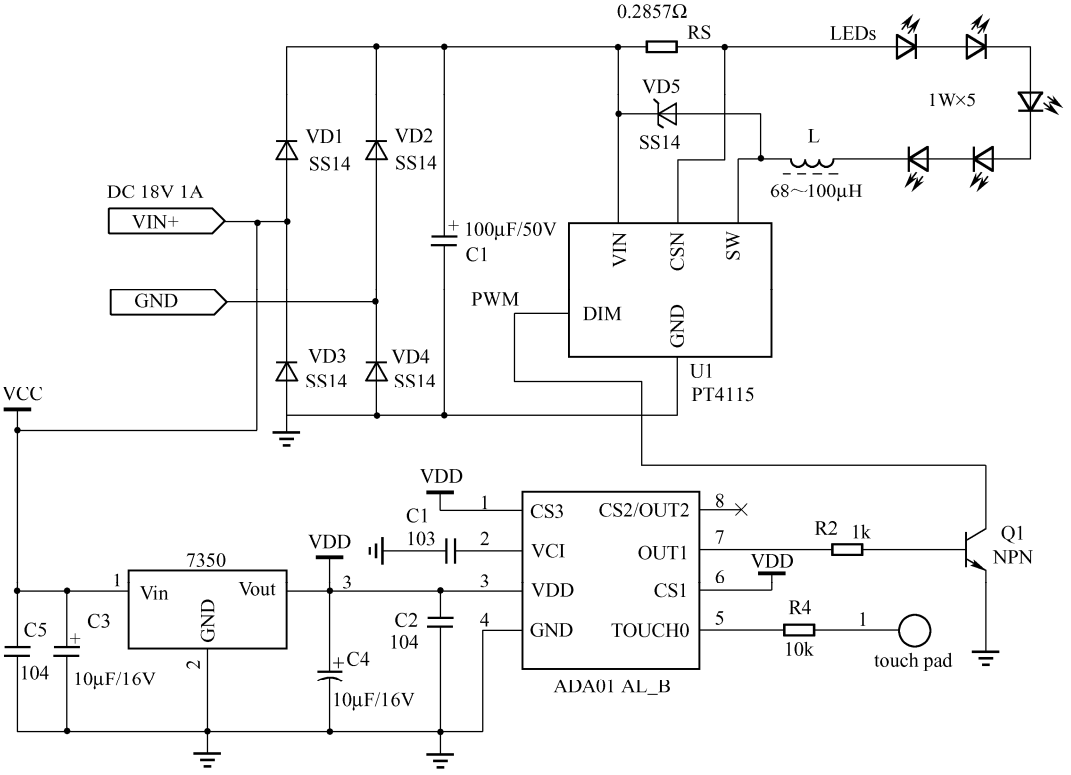


图 6-14　5W 无级调光 LED 台灯驱动器原理图

LED照明设计与应用（第3版）

第7章

户外照明LED灯具的设计与组装

7.1 LED 路灯的设计与组装

LED 路灯正以迅猛的速度冲击传统的路灯市场，但技术方面的差距直接导致 LED 照明产品质量参差不齐。LED 路灯是近年来出现的新事物，随着 LED 产业的进步必将会有更大的发展，前景广阔。但目前还存在不少问题，尽管有少数从事 LED 路灯研究、开发和生产的企业做出了很大努力，解决了一些技术难题，推动了该产品的发展，但从整体上来说，LED 路灯产品的水平、质量参差不齐，差异甚大。目前国家已经出台了两项 LED 路灯国家标准，有标可循，同时部分省市出台了相应的地方标准或联盟标准。这对广大生产企业，在招标、订购、使用、维护中都会产生有利影响，促进 LED 路灯发展。LED 路灯主要参数如表 7-1 所示。

表 7-1 LED 路灯主要参数（摘自广东省路灯标准 DB44/T 609—2009）

序 号	项 目	参 数				
1	LED 路灯初始光效（lm/W）	等级	平均相关色温 4000～6500K	适 用 范 围	平均相关色温 2700～4000K	适 用 范 围
		Ⅰ	≥78	适用于主干道、快速路	≥65	适用于主干道、快速路
		Ⅱ	≥68	适用于主干道、快速路	≥55	适用于次干道
		Ⅲ	≥58	适用于主干道、快速路	≥47	适用于次干道
		Ⅳ	≥50	适用于次干道	≥40	适用于次干道
2	平均显色指数	Ra≥65				
3	2000h 光通量维持率	≥98%				
4	5000h 光通量维持率	≥97%				
5	光斑形状	矩形/圆形/椭圆形光斑				
6	配光曲线	按 CJJ 45—2015 中 4.2 规定的使用场合，选择截光型、半截光型、非截光型或泛光型				

目前也有智慧 LED 路灯在推广应用当中，可以通过电力线载波通信技术和无线 GPRS/CDMA 通信技术或 ZigBee 技术等，实现对 LED 路灯的远程集中控制与管理，具有自动调节亮度、远程照明控制、故障主动报警、灯具线缆防盗等功能。

1．LED 路灯的二次光学设计

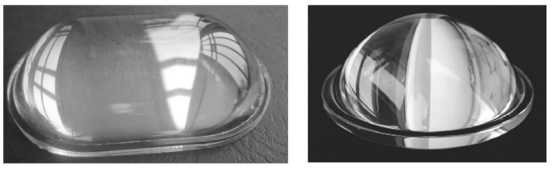
LED 路灯的二次光学设计决定了 LED 路灯的配光及光输出效率，是评判 LED 路灯整灯质量最重要的组成部分之一。目前 LED 路灯所运用的 LED 大致为单颗集成式和单颗阵列式两种。单颗集成式 LED 模组有 30W、50W、60W、75W、90W、100W 甚至 200W 的，现在厂家用的透镜基本都是采用玻璃制作，但玻璃加工难度大，批量制造一致性差，机床、模具和工人操作都会对加工精度产生影响。另外，也不适宜用 PMMA 塑料制造的透镜，因为集成 LED 模组所用透镜体形大，为了能够达到配光的效果，内部结构之间的厚度会相差很大，注塑成型后也会因收缩率不同而产生变形，因此难以达到准确配光。

国内生产各类道路照明灯具的生产厂家也不少，而目前在大功率 LED 道路照明方面，仅简单地进行多芯片或多器件组合，故在实际的照射面积、有效面积的照度不均匀性等方面都很难达到国家的相关标准，也就无法将 LED 路灯应用到支路照明、次干道照明进而拓展到主干道照明领域，而如果硬要为达到标准而增加功率，则 LED 高光效的特点就不复存在。

要设计适用于半导体道路照明的高效光学系统，关键问题在于设计出有效可靠的光学系统，使得光源发出的光均匀地分配在道路上面，即解决有序光能量的传输问题，这正是非成像光学的一个主要研究方向，即给定照度分布光学系统的设计。

通过改进道路照明的结构来提高传输效率，具有很大的提升空间。一种较实用的方法是采用非成像光学的原理设计特殊的光学系统，更合理地分配 LED 发出的光能，以在满足国家标准对光照度和均匀性要求的前提下，提高道路照明系统的性能，尽量提高能量的利用率。

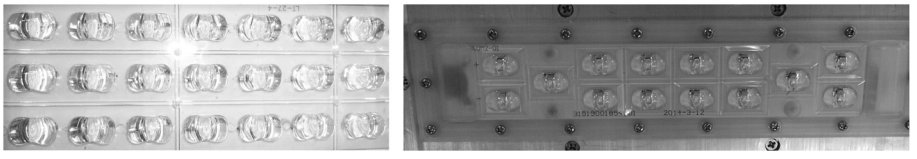
LED 路灯矩形光斑的二次配光可以由几种技术来实现。采用其中的一种非对称自由曲面技术时，透镜呈半球形，不同于现在常见的长条形透镜。大功率 LED 路灯透镜如图 7-1（a）所示。配光一般选择蝙蝠翼配光，使光强能均匀而分布较宽。



（a）大功率LED路灯透镜



（b）加装二次光学透镜LED路灯（单颗透镜）



（c）加装二次光学透镜LED路灯（透镜模组）



（d）大功率集成封装光源模组

图 7-1　LED 路灯



集成光源 LED 透镜套件由防眩光透镜、硅脂胶圈、压铸铝压框组成，具有防眩光，消除黄圈与成像，起到遮光板作用。

LED 路灯采用单颗 1W 阵列式方案，二次配光直接由单个 LED 光学元件完成，路灯灯头只要用矩形配光的模块做一个阵列式安装，即可达到理想的使用效果。整体 LED 路灯经测试达到了比较好的配光效果，其均匀度为 0.57。现在的 LED 路灯采用单颗 1W（MC PCB 集成化封装）的 LED，要外面加装二次光学透镜，透镜采用非球面光学设计，对 LED 所发出的光线的聚光效果可以达到 90%以上；专为大功率 LED 路灯而设计，矩形光斑 50×120°，光斑均匀度良好，采用桥式设计，中间的非球面透镜设计与 LED 紧密接触，透镜两端采用螺丝孔安装设计，一个透镜对应一个 LED，使灯具设计安装更加方便，如图 7-1（b）所示。

透镜模组（见图 7-1（c））可以匹配多款大功率 LED，光斑均匀，无散光，无黑点，无阴影透镜率非常高，可以最大限度地发挥 LED 的光线利用率。角度：70×140°，用于美国流明，韩国首尔、埃迪森等各种 LED。光斑的配光比 1:2.55，均匀度＞0.42，6.5～12.5m 通用，中心 35lx、16m 远 6lx，光斑分布均匀、照度均匀，完全符合 LED 路灯光学要求。

随着封装技术的进步，白光 LED 的封装方式由单颗 1W 大功率 LED 器件逐渐转向大功率集成封装光源模组。目前的大功率集成封装光源模组的功率最高可达 250W 以上，但这类光源由于发光面积较大，为光学配光设计带来困难。当结温超过系统预设的温度时，系统可以自动调节散热系统的散热途径或降低 LED 的功率。该光源模组可以由单颗 1W 大功率白光 LED 阵列的方式或大功率集成封装光源模组的方式组成，已经运用在 LED 路灯上，如图 7-1（d）所示。

大功率 LED 工程照明应用的另一个关键问题是配光问题。传统光源照射方向为 360°，灯具依靠反射器将大部分光线反射到特定方位，一般来说有效光为光源的 40%～70%，光源光输出的很大一部分被限制在灯具内部发热消耗掉。大功率 LED 路灯配光图如图 7-2 所示。

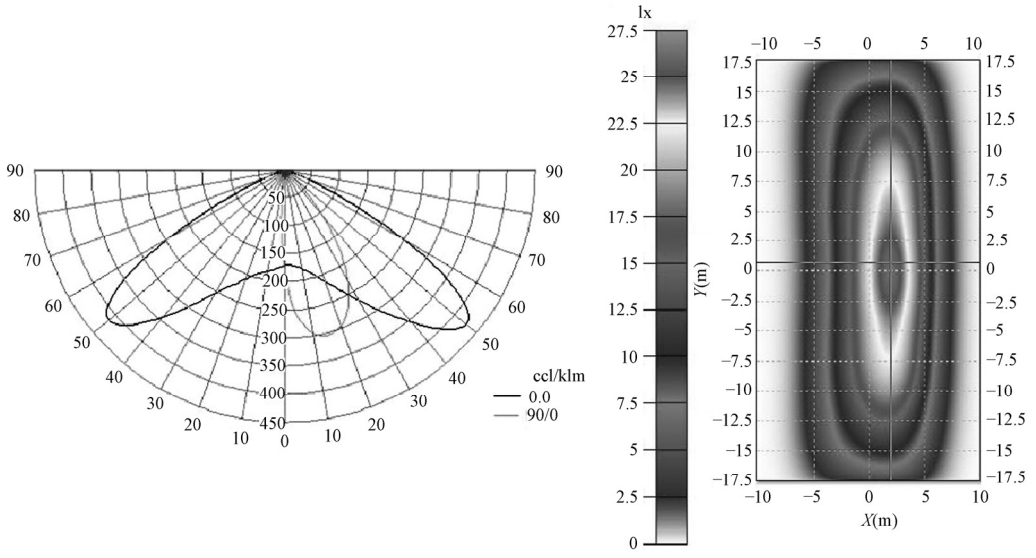


图 7-2　大功率 LED 路灯配光图

LED 灯的绝大部分光线都是前射光，可以实现 95%以上的光效，这是 LED 区别于其他光源的重要特性之一，如果不能将这一特性很好地利用，就会使 LED 的优势大打折扣。大多数大功率 LED 灯由于是多个 LED 芯片拼装的，所以要将这么多光源照到不同方向有很大的难度，往往造成两种后果：照到需照亮区域之外的地方，如图 7-3 所示，造成光源浪费；路面照度不均匀，如图 7-4 所示。目前主流的 LED 路灯都是做了偏光设计的，否则浪费很严重。路宽方向若没有偏光设计，很大一部分光会浪费在非有效路面上，造成利用率很低。



图 7-3　照到需照亮区域之外的地方



图 7-4　路面照度不均匀

为达到道路、隧道、厂区等不同场合照明标准要求，充分发挥芯片整体封装的特点，采用透镜，通过光学设计，根据不同需要，配备不同凸面曲线，依靠透镜将光线分配到不同方向，保证出光角度大的可以达到 120°～160°，小的可以将光线聚集在 30°以内。透镜一旦定型，在生产工艺保证的前提下，同种灯具的配光特性也就达到了一致。经过多次试制，不断地总结经验，已成功研制并定型了多款透镜。目前隧道灯、路灯和一般照明灯已达到各自应用场所的照明要求。

2．LED 路灯的散热

LED 照明的能效是 LED 光源和灯具结构两方面的结果，结构包括控制系统、LED 电源、其他电子结构、光学因素等。LED 路灯主要是为了照亮路面，因而属于局部照明。对 LED 路灯产品来讲，不同特性的 LED 光源配用不同屈光度的透镜，互换性不好。为解决这个问题，LED 光源采用内置导光多角度平面合理组合的方法，要求其出光是一规则的长方形照射面，照射面更宽，而且亮度增大，故路面照射均匀。

LED 的效率受散热和光学设计的影响很大，因此这也使得 LED 灯具的设计显得相对重要。要保证必要的光输出和 LED 的使用寿命，LED 的散热特别重要，尤其要求将灯具的外壳作为一个散热器，或者作为一个热传递设计的环节，因此对于 LED 的光通量和光衰的时间比有至关重要的影响。

散热的途径分为传导、对流和辐射 3 种方式，其中传导效果最好，其次是对流，辐射最差。在设计 LED 路灯散热结构时，先要考虑的是 LED 路灯的使用环境，然后从中找出适应于环境的散热方式。也就是要根据环境因素考虑散热方式，以确定灯具的散热结构。

在大功率 LED 路灯的整体设计过程中，快速有效的散热是 LED 路灯要重点解决的问

题，因为 LED 光源的光衰和寿命与工作温度的高低有决定性关系。目前 LED 路灯主要采用热管散热和自然散热两种方式。

1）热管散热 热管散热主要将热管焊接在铝合金（散热器）上，经过铝合金（散热器）来进行自然散热。现在也有相关的公司设计生产这种路灯，主要由 LED 透镜（反光罩）、散热器、集成光源或其他形式 LED 光源（PCB）、电源盒组成，如图 7-5 所示。在设计过程中还可以进行散热模拟分析和光学模拟分析。

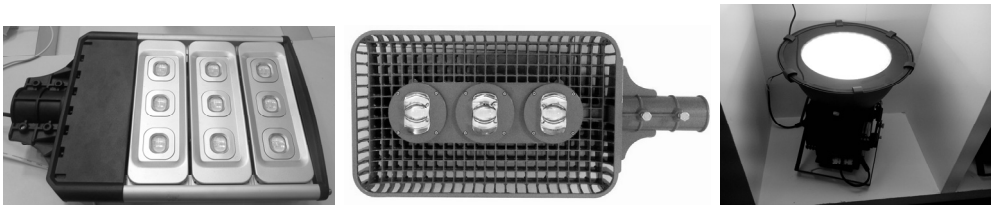


图 7-5 热管散热

2）自然散热 自然散热是目前 LED 路灯比较常见的散热方式，首先要有良好的材质和导热界面、足够的散热面积和蓄热能力；其次，提高冷热空气的快速流动交换，使路灯上的热量通过冷热空气的迅速移位而散发出去，从而达到事半功倍的效果。自然散热的 LED 路灯如图 7-6 所示。LED 路灯于户外较恶劣的环境工作，可能由于突发情况温度飙升，对 LED 路灯系统造成严重损坏。亟须 LED 驱动方案，可探测 LED 的温度；如发现 LED 温度过高，能够做出自动反馈，降低 LED 的电流，以免对 LED 造成损坏。在设计过程中要充分降低各节点之间的热阻，同时采用高效驱动电路及合理安装也是非常重要的。总之，大功率 LED 路灯的散热是一个系统工程，需要经过设计、试验和检测 3 个步骤，才能做到真正的科学与合理。

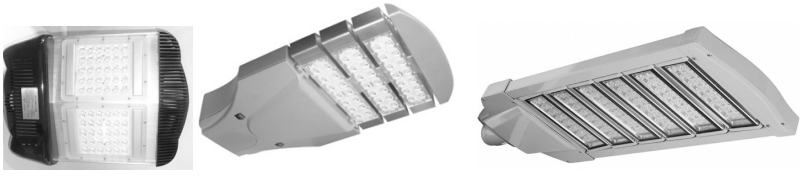


图 7-6 自然散热的 LED 路灯

LED 路灯的寿命与 LED 结温有关，目前 LED 热阻在 4℃/W 左右，随着电光转换效率的不断提高，LED 热阻也将会继续下降，大大降低了采用自然散热路灯的设计难度。由于 LED 综合性能的不断提高及精心科学的设计，自然散热方式才能真正体现出制造方便、价格低廉、性能可靠的优势，也必将是未来 LED 路灯散热的主流方式。



LED 路灯的散热过程最主要的还是靠散热器和空气的对流换热，在排除外界风力影响下主要靠自然对流。自然对流是靠和散热器接触的冷空气被散热器加热后自然上升，旁边的冷空气继续补充进来，通过这样不断循环把热量带走。

3．LED 路灯结构简介

1）LED 路灯灯具结构

（1）组成结构。LED 路灯由铝合金压铸灯体、LED 模块、PC 透镜、恒流电源（内置与外置）和电源室及其盖板 5 部分组成，如图 7-7 所示。

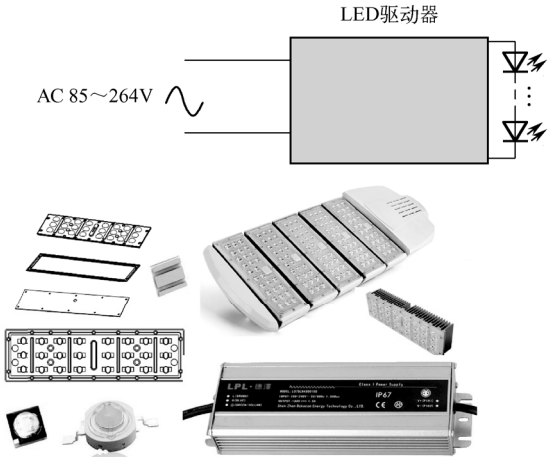


图 7-7　LED 路灯结构

（2）功能结构。功能结构由散热灯体、光源室、电源室 3 部分组成，如图 7-8 所示。

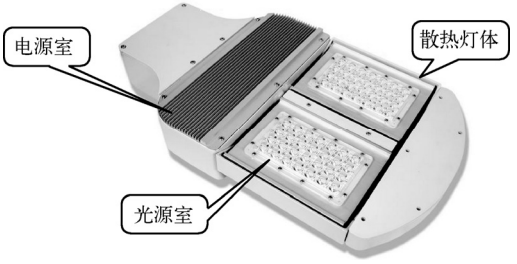


图 7-8　功能结构

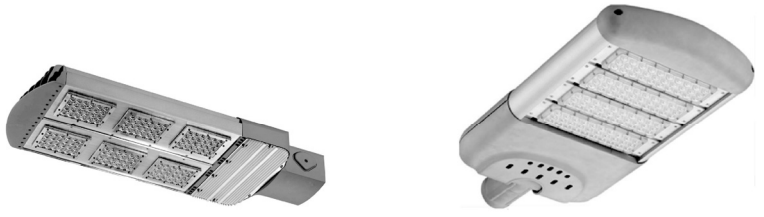
（3）防风能力设计。LED 路灯要进行风洞测试，测试防风能力。在风洞内进行风荷载试验。要求测试风速在 35m/s 条件下，将 LED 路灯试件的灯柱安装在风洞内，分别调整 LED 路灯在宽面迎风及窄面迎风状态下进行测试，观测试件有无变形、松动、破坏、振动等现象。还要考虑在实际环境中，风还可能夹带着雨水、沙石、杂物等，可能会对路灯造成破坏。最好采用流线型设计，将风力分化成多个方向的力，减小灯杆和灯具压力。

2）LED 路灯散热研究　利用铝合金型材组合的路灯，将一块 AA6063（305mm×500mm）的平板散热器型材和不锈钢外框组合，将 LED 焊接在铝基板上制作成 LED 模组，在模块的底部涂抹导热膏（导热硅脂），用螺钉加绝缘垫片固定于铝合金型材散热器平板上，罩上安装防水胶圈的钢化玻璃外罩，用不锈钢外框压住外罩，用螺钉固定不锈钢外框。最后连接驱动电源，完成 LED 路灯的设计制作。

该款路灯的热传导和散热效果均佳，能将 LED 所产生的热量迅速传导到散热器上，再

由裸露在空气中的散热鳍片散发到空气中，由流动的空气带走热量。但是由于整个灯具是由平板散热器、LED 模组、PC 透镜、防水胶圈等多个部分连接组合而成的，所有的 LED 均安装在一个或两个平板上，无法对灯具进行合理的配光，在实际使用中无法满足路灯的照明范围，而且外观呆板，故不宜采用，如图 7-9（a）所示。

现在有一款模组 LED 路灯，如图 7-9（b）所示，主要由两个模组散热器组成，每个 LED 模组由 24 或 30 个 LED 灯珠、PC 透镜、防水胶圈组成。电源采用内置电源，用电源安装支架固定在模组 LED 路灯内，每个 LED 模组都采用防水对接连接。与图 7-9（a）所示最大的不同是，这款 LED 路灯在一定的范围内角度是可调的，防水处理也不错。模组 LED 路灯由电源盒下壳、上盖、下盖板、端盖盒下壳、上盖、灯杆连接头、边梁、铝支架、模组透镜、PCB、散热器、硅胶圈、PG7 防水接头、304 不锈钢螺钉组成。



（a）　　（b）

图 7-9　平板散热器的 LED 路灯



光源化模块（LED 路灯模组）是指大功率 LED 灯具中若干颗 LED 光源做成一个配光、散热与防水防尘 IP 等级等结构一体化的模组，一个灯具由若干模组组成，模块具有防水、配光、散热等功能，而且容易拆卸、替换。LED 路灯模组由散热器、透镜、防水圈、LED 光源组成。透镜采用进口 PC 材料，透光率 93%以上；透镜设计完美，光斑均匀无暗区。

目前大部分 LED 路灯采用模组（模块）化，是将一块单独封闭的 LED 模组作为一个整体，IP 等级达到 IP67，多块 LED 模组拼插在光源槽上，并对应多块驱动电源模组，实现独立工作，任何一个出现故障时，其他模组能不受影响，继续正常工作。



LED 模组和电源模组是标准固件，更换简便，可以参照相关行业标准或地方标准。

灯体防水结构有利于壳体上的雨水排出，并加装了防尘板，有利于防尘更利于雨水排出。高弹性的硅胶能保证灯体的密封性。出线螺钉也采用双层保护，能有效确保水和尘不能进去。

散热器的散热效果主要取决于散热片与发热物体接触部分的吸热底和散热片的设计。性能优秀的散热器应满足 3 个要求：吸热快、热阻小、去热快。

（1）吸热快。吸热底与 LED 模块间热阻小，可以迅速吸收其产生的热量。为了达到这种效果，就要求吸热底与 LED 模块结合尽量紧密，令金属材料与 LED 模块直接接触，最好不留任何空隙。

（2）热阻小。为了提升吸热能力，要求散热片与 LED 模块紧密结合，不留任何空隙。但吸热底与 LED 模块之间必然存在一定的空隙，应采用具有较低热阻及较佳适应性的材料填充其中的空隙，这便是导热硅脂的用武之地。

（3）去热快。将 LED 模块的吸热底和散热鳍片做成一体，即能够将从 LED 组吸收的热量迅速传导到鳍片部分。整个灯体和散热鳍片上部是裸露于空中的，而且鳍片的方向平行于道路，需要散发的热气与气流方向一致，不会因气流形成涡流而造成热气的滞留，从而由流动的气流顺利带走以最快速度将热量散发。



（1）通常散热器表面稍经处理即可达到 0.1mm 以下精度，采用铣床或多道拉丝处理可以达到 0.03mm。散热片的吸热底越平整热阻越小，越有利于热量吸收。

（2）目前主流导热硅脂的导热系数均大于 1W/m · K，优秀的可达到 6W/m · K 以上，普通导热硅脂在高温环境中使用一段时间后会出现“干化”或“硬化”现象，将会大大影响散热效果。

（3）散热器热平衡后控制在 52℃以内，焊点温度控制在 62℃左右，芯片内部温度控制在 68℃左右。

LED 路灯采用流线型设计。流线型面能大幅减少积聚在上面的沙尘和雪，利于散热也减小灯杆和灯具压力。流线型的形状也可降低酸碱物质对灯具的腐蚀。

4．LED 路灯驱动器的配置

LED 路灯的电源系统也与传统光源不同，LED 所特需的恒流驱动电源，是保证其正常工作的基础。LED 的温度及散热效果对 LED 照明系统光衰造成莫大影响。除了 LED 本身以外，LED 驱动方案的功率损耗也会造成发热，增加 LED 的工作温度。因此，LED 驱动器的工作效率需要不断往上提升，以减小对 LED 温度的影响及增加 LED 路灯流明度。

LED 正向工作时结电压相对变化区域很小，所以保证了 LED 驱动电流的恒定也就基本保证了 LED 输出功率的恒定。对于电源电压供应不稳定的现状，道路灯具 LED 的驱动电路具有恒流输出特性是十分必要的，可保证光输出恒定并且防止 LED 的超功率运行。

LED 灯具不同于传统灯具，传统灯具中除部分功率转化为光能外，绝大部分功率都转化为红外辐射能量辐射到灯具外部空间，而 LED 是半导体发光，除部分功率转化为光能外，绝大部分功率都转化为热能，这些热量只能借助与芯片紧密结合的灯体（散热器）散热。

设计时为了使灯具产品的整体结构优美，往往把电源与 LED 灯体结构设计在一起，LED 的发热与电源的发热叠加，这样电源和 LED 光源都处在恶劣的工作环境中，当工作环境的温度超过一定的温度时，电源及 LED 的寿命大打折扣。电源内部设置温度保护时会出现反复开关灯的现象，不设置温度保护又会引起高温损坏电源器件并加速 LED 的光衰。

LED 驱动电源属于开关电源，开关电源的质量与可靠性取决于其电路设计、生产工艺及器件的质量。电解电容是大功率开关电源中必不可少的组成部分，而开关电源的正常工作寿命取决于电源所使用的电解电容的寿命，电解电容的寿命又取决于电容本身的寿命及工作温度。

电解电容在不同的温度下其工作寿命差异很大，就拿国外某著名品牌电解电容为例，其通用−40～+105℃规格电容寿命保证值是（在 105℃满负载条件下）10000h 的高温电解电容。如果设计时电容纹波电流负载值最大使用到 85%，则按其提供的寿命估算公式：

☺ 电容温度 65℃时的寿命只能保证约 80000h;

☺ 电容温度 75℃时的寿命只能保证约 60000h;

☺ 电容温度 85℃时的寿命只能保证约 40000h;

☺ 电容温度 95℃时的寿命只能保证约 20000h。

从以上的推算可知，电解电容温度每上升 10℃，寿命将会减半（每降低 10℃，寿命增加一倍）。

电解电容的工作温度示意图如图 7-10 所示。

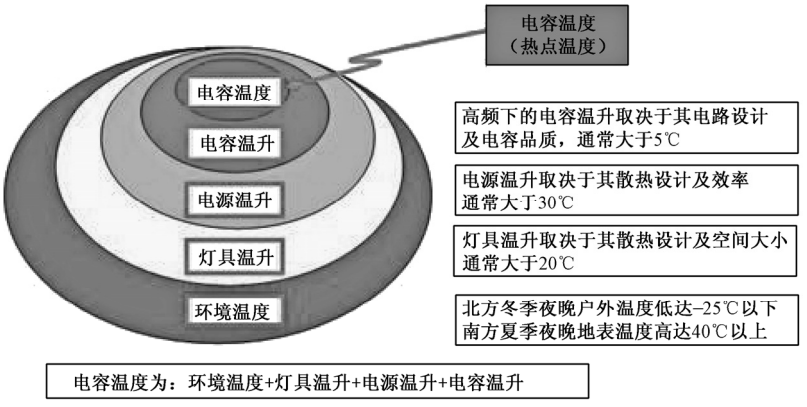


图 7-10　电解电容的工作温度示意图



影响电解电容寿命的因素有频率、纹波电流、环境温度、电压。

要想使 LED 驱动电路呈现恒流特性，从驱动电路的输出端向内看，其输出内阻抗一定是高的。工作时，负载电流也同样通过这一输出内阻抗，如果驱动电路由降压、整流滤波后加直流恒流源电路或通用的开关电源加电阻电路组成，则在其上必定也消耗很大的有功功率，所以这类驱动电路在基本满足恒流输出的前提下，效率是不可能高的。正确的设计方案是采用有源电子开关电路或高频电流来驱动 LED，使驱动电路在保持良好的恒流输出特性的前提下，仍具有很高的转换效率。

LED 路灯用于户外环境，工作温度变化相当大，因此 LED 照明驱动方案在相当宽阔的工作环境温度也需稳定工作。所选用的 LED 驱动 IC 的工作温度范围均为–40～+125℃，才能满足路灯在恶劣环境的工作要求。

目前我国的道路灯具采用 LED 光源加驱动电路的模式，这一模式的安装数量越来越多，其可靠性也是很高的。而采用 LED 驱动电路的 LED 路灯在户外照明场合使用时，威胁其可靠性的一个重要方面是雷电感应。雷电感应对驱动电路来讲属于共模干扰信号，对地可达数百伏到数千伏，很容易击穿驱动电路内的 EMC 接地电容或较小的对地（对外壳）的电气间隙，造成驱动电路的损坏。在驱动大功率白光 LED 时，采用了恒电流控制的方法，具有自动限流作用，比采用电阻的恒压限流驱动的方法更易于实现限流和过流保护；同时没有额外的限流电阻，减小了电路损耗，提高了能量转换效率。

户外 LED 电源要求具备较好的防雷能力，并遵循国家标准 GB/T 17626.5—2008《电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验》设计（等同 IEC-61000-4-5，差模抗压 2kV，共模抗压 4kV）。在特殊雷击密集区，户外 LED 电源要求参照 IEC61643-1 或 EN61643-11 等标准设计，同时在 LED 路灯的输电前端加接独立防雷器。



浪涌抑制性能（抗雷击）的电压保护水平应不低于 2kV（线–线）和 4kV（线–地）。

户外 LED 电源要求防水，需采用密封式外壳，为了防护等级的提高要求灌胶处理，不同的胶体材料价格成本不一样，导热性能也不一样，廉价胶导热性能差，且需高温烘烤，往往会造成元器件不同程度的隐形损伤及紧束拉伤，留下隐患。散热处理得不好将使壳体内电解电容工作环境如同保温瓶，热量无法散出。正规供应商都会使用导热性能好的硅胶。LED 产生的大量热就依靠壳体来散热，合理的设计 LED 灯具壳体温度约为 85℃，即在室温 25℃工作条件下，灯具壳体温升 45～60℃，目前也有最高温度在 105℃的。

恶劣环境下电容工作环境温度会大于 95℃。要提高电源寿命需要从多方面来改善。诸多灯具企业为了灯具设计紧凑，将电源体积做得小巧并安装在密闭的空间里，其电源的散热条件受到限制。因此高效率、小体积及更好的散热设计是电源面临的挑战。

恒流源电源的电路驱动方法符合大功率白光 LED 的非线性 *V*–*I* 曲线特性，避免了电压轻微波动而造成的电流变动，从根本上解决了大功率 LED 串联亮度不稳定的问题，保证了大功率 LED 的发光亮度恒定。流经大功率 LED 的电流不受大功率白光 LED 串联数量的限制。不同的发光亮度需求，通过灵活地驱动多个大功率白光 LED 就可以实现。对于大功率白光 LED 的并联使用，该类电路仍无法保证并联分支 LED 的发光亮度一致。但可以使用多个恒电流电源，分别驱动不同的并联分支 LED，同时保证并联分支 LED 属性一致。

户外 LED 照明是新兴产业，目前还未大面积普及，主要是应用在一些市政工程中，设计过程中可以依照的国家标准、行业标准或地方标准，由于其发展与更新跟不上户外 LED 照明的发展，所以每一个厂家设计的灯具所需求的电源在结构或电气上都不一样。多数中国设计企业的习惯是在产品研发的初期不让配套供应商参与，而是在产品设计完成后再去找电源配套的供应商；同样，多数户外 LED 照明灯具企业在灯具设计初期没有与电源厂家沟通与合作，一般都按自己的想法或仿照自己认为的设计最好的某一同行的做法，在 LED 光源及散热器结构设计完成后才考虑 LED 驱动电源的问题，这样往往会找不到合适或质量合格的电源。

笔者建议，在设计户外 LED 照明灯具时，先选择配套电源厂家合作，选择其生产的常规

产品。按照设计来对电源进行相关的测试，在达到设计要求的情况下，进行相关的 PCB 的设计，选择合适的串并数。

LED 工程交期短，大部分电源供应商为满足客户要求需要临时设计或更改设计，造成材料采购周期短或生产工艺不成熟，从而导致电源成本的急剧上升及生产的产品质量不稳定。LED 电源标准化设计从而提高通用性，降低成本，以批量化生产而提高质量是大家努力实现的目标。

目前，国内在大功率 LED 电源市场上质量处于中高端，市场占有率较大，口碑较好的有深圳茂硕、杭州英飞特、南京慧华、台湾明纬、台湾台达、飞利浦、欧司朗等 LED 电源应用产品。

5．LED 光源的模组化设计

欧美 LED 路灯与我国 LED 路灯外形上类似，功能上也是大体相同的。欧美 LED 路灯主要采用灯体防水的结构，电源是不防水的。我国大多数 LED 路灯以模组式居多，电源采用防水的结构，防水等级至少在 IP65 以上。

LED 路灯光源采用模组化设计，以实现地面照度与功率的最佳匹配，通过增减光源数量来满足不同的路面宽度和照度要求，达到既满足城市的照明要求又不浪费电能的目的。

LED 路灯都必须采用恒流源供电，目前路灯制造、生产商大多数在定好路灯功率的情况下，先设计好 LED 模块，最后再来寻找合适的恒流电源。殊不知这种设计方法是会遇到好多问题的，其一可能要重新设计 LED 模块，其二没有合适的电源可以配置，需重新开发电源。因为恒流模块能够带多大功率的 LED 与很多因素有关。从恒流模块本身来说，它主要是与散热要求和散热条件有关，当然也与恒流模块当中采用驱动芯片的电流驱动能力有关。一个恒流模块的驱动功率除了和散热能力有关以外，最主要的还和工作效率有关。而工作效率与外在的因素有关，尤其是在户外使用 LED 路灯的情况。在设计 LED 模块时就要考虑恒流源的要求和特点。

（1）作为灯具，在安规上是有要求的。一般是根据国际电工委员会 IEC 61347-2-13《灯的控制装置 第 2-13 部分：LED 模块用直流或交流电子控制装置的特殊要求》标准，针对采用直流或交流供电的 LED 模块要求在 LED 灯具中的电压不得超过最大安全特低电压（SELV），LED 模块工作输出电压≤50V a.c. r.m.s.（DC 120V 无波纹）。

（2）作为户外使用 LED 路灯（串联方式，中功率 LED，如 3030），为了方便维修，通常采用 LED 模块，每一个模块通常设计成长方形。建议每个模块的功率小于 40W（30W 或 40W，7 串 5 并或 9 串 7 并）。这样，100～120W 的路灯采用 3～4 个 LED 模块，而 150～180W LED 路灯则采用 5～6 个 LED 模块，180W 以上的 LED 路灯可以用 7～8 个模块。

（3）串联的 LED 数应当少于 40 个。

（4）作为户外使用 LED 路灯（并联方式，大功率 LED），为了方便维修，通常采用 LED 模块，每一个模块通常设计成长方形。建议每个模块的功率小于 30W（30W 或 24W，15 串 2 并或 12 串 2 并）。这样，100～120W 的路灯采用 3～4 个 LED 模块，而 150～180W LED 路灯则采用 5～6 个 LED 模块，180W 以上的 LED 路灯可以用 7～8 个模块。

（5）在 LED 模块中，通常采用 1W 的 LED，串并联的连接方式。究竟是先串后并，还

是先并后串，应根据具体情况而定。

（6）具体用几串几并，要根据恒流模块的功率来定。

6．LED 路灯电源检验的要求

LED 路灯电源检验的要求如表 7-2 所示。

表 7-2　LED 路灯电源检验的要求

序号	检 验 项 目	检 验 要 求	标准或说明
1	标志要求	➢ 来源标志。 ➢ 型号或制造商的类型符号。 ➢ 独立式灯的控制装置符号。 ➢ 额定电源电压（或若干电压值）范围、电源频率和电源电流。 ➢ 接地符号、T_c 值、独立式 T_a 值。 ➢ 热保护控制装置的温度标志。 ➢ 稳压型、稳流型。 ➢ 标志应清晰而持久	GB 19510.1 第 4 章节、 GB 19510.14 第 4 章节、 GB 19510.1 第 7 章节、 GB 19510.14 第 7 章节
2	外观和结构要求	➢ 应没有尖端或锐边，在安装、正常使用或维护时不能对使用者造成伤害。 ➢ 机械强度	GB 19510.1 第 4 章节、 GB 19510.14 第 4 章节、 GB 19510.1 第 15 章节、 GB 19510.14 第 17 章节
3	工作电压和电流	➢ 电源输入采用制造商标称输入电压范围的最高电压的 106%和最低电压的 92%	GB/T 24825 第 7.2 章节
4	防水等级	➢ 防水等级至少在 IP65 以上	
5	EMC	➢ 无线电骚扰。 ➢ 电磁兼容抗扰度	GB17743、GB 17625.1 GB/T 18595、GB/T 17626
6	总功率与功率因数	➢ 电源输入采用制造商标称输入电压范围的最高电压和最低电压	GB/T 24825 第 8 章节、 GB/T 24825 第 9 章节
7	输出电流	➢ 电源输入采用制造商标称输入电压范围的最低电压	GB/T 24825 第 10 章节
8	能效等级	➢ 输出负载采用制造商宣称的最大负载和最小负载	GB/T 24825 第 14 章节
9	介电强度试验	➢ 输入线路到输出线路（加强绝缘）试验电压：3000V。 ➢ 输入线路到壳体（基本绝缘）试验电压：1500V。 ➢ 输出线路到壳体（补充绝缘）试验电压：1500V	GB 19510.1 第 12 章节、 GB 19510.14 第 12 章节
10	抗振特性	➢ 5Hz，25mm 振幅峰−峰值，持续 40min，最大加速度 12m/s^2，总振动循环 20000 次。 ➢ 2.7Hz，25mm 振幅峰−峰值，持续 4h，最大加速度 3.6m/s^2，总振动循环 40000 次	正常工作
11	高温老化	➢ 高温下被老化电源接通负载或假负载，将电源直接放置在 120℃恒温箱内。 ➢ 光源部分分开放置在箱外，不能出现炸机、闪烁、糊味等异常情况。 ➢ 按照接通 15min 关断 2min 时序，连续 72h 老化	正常工作

7．LED 路灯的组装流程（模组）

LED 路灯的组装流程（模组）如图 7-11 所示。

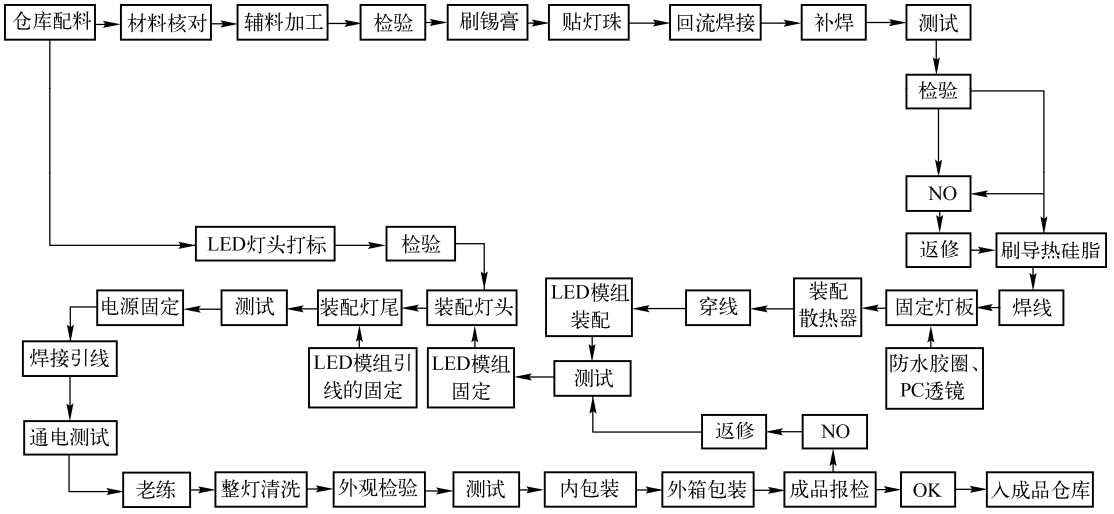


图 7-11　LED 路灯的组装流程（模组）

LED 模组检验标准如下：

☺ LED 不能贴斜、极性接反，LED 透镜表面不能有烫伤、刮伤、污垢。

☺ LED 透镜应光滑，无毛边、毛刺，不应有开裂现象。

☺ LED 引脚必须焊接牢固，焊点要光滑、饱满；中心焊点要与铝基板的焊盘完全接触，不能有短路、虚焊、漏焊的现象。

☺ 检查焊线长度是否符合要求，焊点是否光滑，无虚焊、假焊、拖尾、少锡的现象。

☺ 散热器鳍片不能错位，无松脱、断裂、变形或粘上油污、汗渍等。

☺ 鳍片散热器与铝基板接触良好，不可出现缝隙，除接触面外，散热片其他位置不可黏附导热硅脂。

☺ 不可有暗灯、死灯、闪烁、假焊、虚焊、短路、刮花、露铜、移位、硅胶脱落（掉帽）等不良现象。

☺ 检查 LED 模组正面，螺丝是否有滑牙、扫头、漏锁，表面是否有脏污、刮伤、破损、裂纹等不良现象。

LED 路灯组装注意事项如下：

☺ 灯壳配件到后，开包检验外观，查看相关配件数量是否正确，质量是否符合要求，零配件有无缺陷，根据 LED 模组状况与灯具安装要求检查。

☺ SMT 光源到货后，要进行外观检验，检验各焊点是否有脱焊、漏焊、虚焊的现象，板面焊渣是否清理干净，检验灯珠与铝基板的接触面是否紧贴，是否有悬空，如有悬空，应将灯珠取下重新焊接，以保证最大程度的导热。

☺ 直流稳压稳流电源点亮 LED，点亮后观察灯珠是否有死灯现象，是否不亮或者是否有短路等不良现象。

☺ 在灯具组装之前，要做好防静电工作，戴好静电环。

☺ 铝基板背面涂上导热硅脂，涂导热硅脂时要保证灯珠焊点下方涂抹均匀，不要太厚，要将整个铝基板均匀涂上，以保证散热。

☺ 灯板安装方向要求一致，排列整齐，避免装 PC 透镜高低不平或有缝隙，螺钉要拧紧。

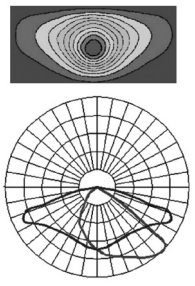
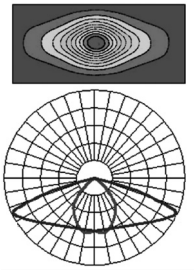
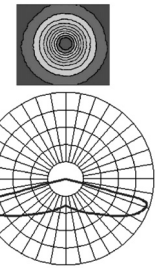
☺ 检查防水胶条密封是否到位，PC 透镜有无损坏。

☺ 检查密封条有无严重偏位，螺丝孔位是否偏离，螺丝是否未上到位、混料，装配时有无将表面刮花、刮伤，有无指痕。

☺ LED 路灯安装完毕，检查外观，看有无磨损，安装是否到位。并按照防护等级进行防水试验。

目前 LED 模组的配光类型有 TpyeⅠ短配光、TpyeⅡ短配光、TpyeⅢ中配光、TpyeⅤ短配光，如表 7-3 所示。

表 7-3　LED 模组的配光类型

	TpyeⅡ	TpyeⅠ	TpyeⅤ
配光曲线			
用　途	道路照明	隧道照明	停车场照明



LED 模组功率有 20W、24W、30W、45W 可选，LED 灯的功率在 1 ~ 3W 之间。

LED 模组连接方式示意图如图 7-12 所示。

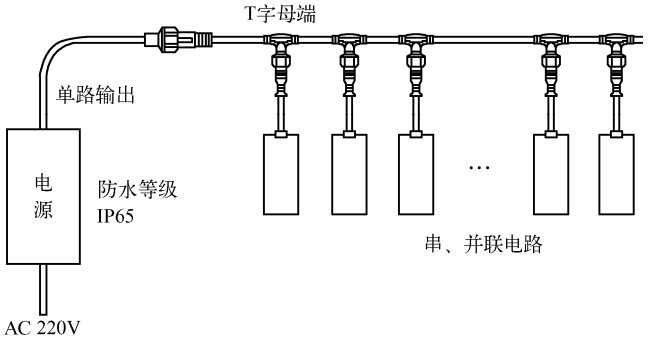


图 7-12　LED 模组连接方式示意图

8．LED 路灯的安装

使用安装说明：

（1）LED 路灯输入为 3 芯护套线，其中红色线接火线，蓝色线接零线，黄绿花线接地。

（2）将 LED 路灯接口插入ϕ60mm 灯杆，紧固内六角螺钉，安装过程中注意保持 LED 路灯平衡。LED 路灯安装示意图如图 7-13 所示。



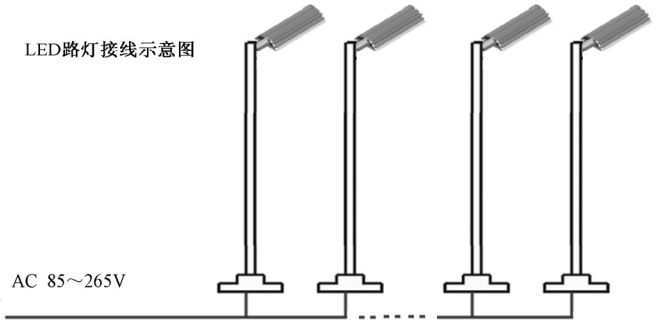


图 7-13　LED 路灯安装示意图

（3）给 LED 路灯施加额定电压即可正常工作，工作过程中须保证电压在额定范围内，超出额定电压时会造成不可修复的损坏。



为保证 LED 路灯可靠、稳定工作，地线必须可靠接地。接线完毕后，必须用绝缘胶带缠绕，保证彼此绝缘可靠，并做好防水处理。螺钉必须紧固牢靠，防止 LED 路灯松动脱落。输入端最高施加电压不能超过 AC 270V。



（1）LED 路灯外部都是导体材料，其本身就相当于一个避雷针，在设计上必须安装引下线和地网，路灯内部通过接地、设置电压保护等方式对设备进行保护。

（2）电源线、信号线、金属管道等都要用过压保护器进行等电位连接。

（3）LED 路灯灯具内的非带电金属应形成整体，并通过接地螺栓与接地线连接。灯具引出线采用阻燃电缆，长度大于 1.5m，接线方式为单相三线制（含接地线）。

（4）LED 路灯应具有良好的耐腐蚀性能；若 LED 路灯上有油漆部件，其涂层应符合 QB/T 1551—1992《灯具油漆涂层》中 II 类使用条件的要求；若 LED 路灯上有电镀或化学覆层，应符合 QB/T 3741—1999《灯具电镀、化学覆盖层》中规定的使用条件要求。

（5）LED 路灯替换可以参照国家标准 GB/T 31832—2015《LED 城市道路照明应用技术要求》。

（6）LED 路灯老化在没有强制通风、温度控制在 20~30℃的环境中进行，LED 路灯按正常安装姿态架设，按 LED 路灯标称额定电压或标称的适用电压范围的最大电压接通电源，LED 路灯以满功率工作。

7.2 风光互补 LED 路灯设计

在 21 世纪，能源问题已经关系到人类的生存和发展，随着石化能源的日益枯竭，由此带来的环境问题日益严重，国家必将大力发展新能源。目前太阳能和风能因其清洁无污染已经得到了快速发展，在全世界得到广泛应用。独立光伏系统和风能系统受到环境、温度、光照、风速等的影响，使得光伏系统和风能系统无法保证稳定的输出。光伏和风能的互补性很强，风光互补发电系统在资源上弥补了风电和光电独立系统在资源上的缺陷。

目前，我国城市路网和高速公路发展迅速，常规路灯必须有供电系统，因此大部分远离电源点的乡村道路没有安装 LED 路灯。风光互补 LED 路灯的出现，可以避开传统的供电系统。光伏和风能在时间分布上有很强的互补性，使得风光互补 LED 路灯得到广泛应用，同时它们是取之不尽的再生能源，利用其发电不会产生有害气体，清洁干净，环境效益好。

风光互补 LED 路灯系统原理图如图 7-14 所示。

风光互补 LED 路灯主要由太阳能电池板（太阳能电池板组件）、蓄电池（免维护阀控铅酸蓄电池）、风力发电机、风光互补系统控制器、LED 路灯、蓄电池地埋箱、灯杆等组成，如图 7-15 所示。

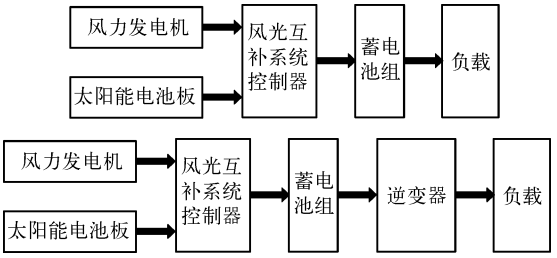


图 7-14　风光互补 LED 路灯系统原理图

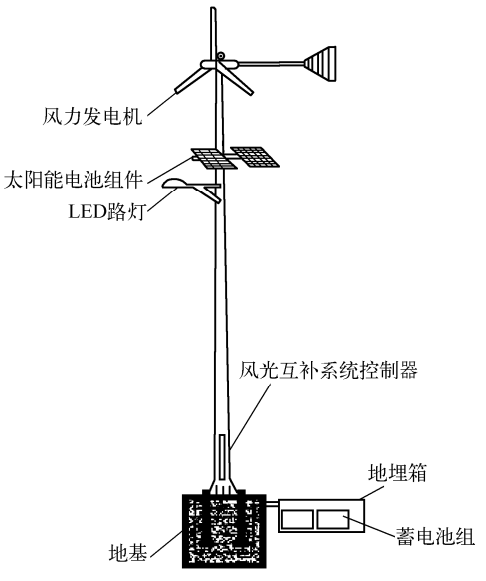


图 7-15　风光互补 LED 路灯



风光互补 LED 路灯的灯杆应满足 GB/T 9790—1988《金属覆盖及其他有关覆盖层维氏和努氏显微硬度试验》、GB/T 11373—1989《热喷涂金属件表面预处理通则》、QB/T 1551—1992《灯具油漆涂层》、GB/T 699—2015《优质碳素结构钢》、GB/T 700—2006《碳素结构钢》、GB/T 1591—2008《低合金高强度结构钢》等国家标准或行业标准。

1．风光互补 LED 路灯设计规范

☺ JTG/T D70—2010《公路隧道设计细则》
☺ JTG/T D70/2-01—2014《公路隧道照明设计细则》
☺ JTG/T D70/2-02—2014《公路隧道通风设计细则》
☺ JTG D70/2—2014《公路隧道设计规范 第二册 交通工程与附属设施》
☺ CJJ 89—2012《城市道路照明工程施工及验收规程》
☺ GB 50007—2011《建筑地基基础设计规范》
☺ GB 50009—2012 《建筑结构荷载规范》
☺ GB 50010—2010《混凝土结构设计规范》
☺ GB 50057—2010 《建筑物防雷设计规范》

2．风光互补 LED 路灯部件简介

1）太阳能电池板 太阳能电池板主要材料是硅，硅是地球上储藏量最丰富的材料之一。太阳能电池的发电原理是利用光入射半导体时所引起的光电效应，即太阳光照在半导体 P-N 结上，形成新的空穴–电子对，在 P-N 结电场的作用下，空穴由 N 区流向 P 区，电子由 P 区流向 N 区，接通电路后就形成电流。硅太阳能电池按制造工艺的不同主要分为单晶硅和非晶硅太阳能电池。太阳能电池板由电池片、组件边框、背板（TPT）、填充材 料（EVA）、钢化玻璃、封装材料及接线盒等组成，太阳能电池板的示意图如图 7-16 所示。电池片采用高效率（16.5%以上）的单晶硅太阳能芯片封装，目前有的已经达到 18%以上，可以保证太阳能组件发电功率充足。采用低铁钢化绒面玻璃（白玻璃），厚度 3.2mm，透光率达 91%以上（320～1100nm），同时能耐太阳紫外光线的辐射，透光率不下降。

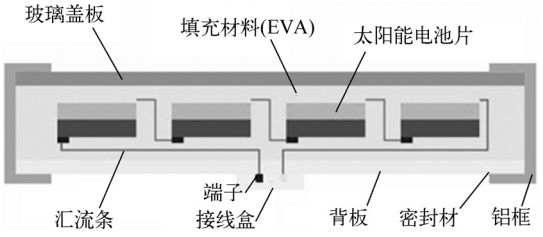


图 7-16 太阳能电池板的示意图



太阳能电池封装边框是指光伏太阳能电池板组件用铝合金型材固定框架。单件太阳能电池片输出功率较小难以满足常规需求，需要将它们串联或并联后封装再组装成太阳能板接入太阳能发电系统进行供电。

太阳能电池板分类比较如表 7-4 所示。

表 7-4　太阳能电池板分类比较

种类	单晶硅太阳能电池	多晶硅太阳能电池	非晶硅太阳能电池
光电转换效率	15%左右，最高达到 24%	12%左右	偏低，10%左右
成本	成本很高	总的生产成本较低	成本相对最低
发展	大量和普遍地使用	大量发展	在弱光条件也能发电
寿命	一般可达 15 年，最高可达 25 年	寿命也要比单晶硅太阳能电池短	不够稳定，随着时间的延长，其转换效率衰减

2）风光互补路灯控制器　风光互补路灯控制器采用先进的 MPPT 功率跟踪技术，保证风能和太阳能的最高利用。可计算机远程监控、软件升级和参数设置；具有两路负载独立输出功能；智能化软件控制，控制精确。风光互补路灯控制器可以将风力发电机和太阳能电池产生的电能对蓄电池进行充电，供给路灯、监控系统及小型用电设备等使用。它适合于风光互补路灯系统，不仅能够高效率地转化风力发电机和太阳能电池所发出的电能，而且还提供了强大的控制功能。可以智能设置开、熄灯时间，并且可以根据蓄电池剩余电量自动调整亮灯持续时间。

风光互补路灯控制器能够对太阳电池板和风力发电机所发的电能进行调节和控制，提供了太阳能电池接反、蓄电池过压、蓄电池欠压、风力发电机输入/输出过载、超风速飞车等多种保护。

合肥为民电源有限公司生产的风光互补路灯控制器产品系列丰富。采用 PWM 方式进行无极卸载，将多余的电能释放到卸荷器上，使蓄电池处在最佳的充电状态。工作电压为 DC 12V、24V、48V，风机功率为 300～3000W。



PWM 模式直充风光互补控制器主要用于高风速地区，MPPT 模式升压控制器主要用于低风速地区。

3）胶体铅酸蓄电池　胶体铅酸蓄电池是对液态电解质的普通铅酸蓄电池的改进，用胶体电解液代换了硫电解液，在安全性、蓄电量、放电性能和使用寿命等方面较普通电池有所改善。胶体电池的优点：质量高，循环寿命长。胶体电解质可对极板周围形成固态保护层，保护极板避免因震动或碰撞而产生损坏、破裂，防止极板被腐蚀，同时也减少了蓄电池在大负荷使用时产生极板弯曲和极板间的短路，不至于导致容量下降，具有很好的物理及化学保护作用，是普通铅酸电池寿命的两倍。铅酸蓄电池分为普通铅酸蓄电池与胶体铅酸蓄电池两

种，普通铅酸蓄电池和胶体铅酸蓄电池的区别如表 7-5 所示。

表 7-5　普通铅酸蓄电池和胶体铅酸蓄电池的区别

比 较 项 目	普通铅酸蓄电池	胶体铅酸蓄电池
电解质	硫酸溶液（液态）	固体添加剂和特殊成分硫酸溶液，胶体和液体两种状态结合协同作用
电解液固定方式	电解液吸附在多孔的玻璃隔板内，而且必须呈不饱和状态	电解液由多种添加剂以固体形式固定，可充满电池内所有空间，特殊成分硫酸溶液吸附在多孔的隔板内
浮充性能	浮充电压相对较高，浮充电流大，快速的氧再化合反应产生大量的热量，玻璃纤维隔板的热消散能力差，热失控故障时有发生	由于电解液比重低，浮充电压相对也较低，浮充寿命长
循环性能	由于玻璃纤维隔板微孔径较大，深放电时电解液比重降低，硫酸铅溶解度增大，沉积在微孔中的活物质会形成枝晶短路，进而导致电池寿命的终止	不会形成枝晶短路，电池寿命长。电池在使用寿命中，容量恒定，在最初几年，容量有所上升
氧再化合效率	由于隔板的不饱和空隙提供了大量的氧扩散通道，再化合效率较高，但其浮充电流和产生的热量也较高，因而易导致热失控故障	使用初期再化合效率较低，但运行几周后，再化合效率可达 99%以上
电解液的层化	玻璃纤维的毛细性能无法完全克服电解液的层化问题，电池的高度受限制，因而大容量高尺寸极板电池只能水平放置	硫酸固体均匀地分布，绝无浓度层化问题，电池可竖直或水平任意放置
内阻	小	是胶体电池内阻的二分之一
一致性	优良	优良
保护功能	保护正负极板功能比较差	优良的保护正负极板功能
恢复容量能力	较差	很强
低温性能	差，小于 0℃时能力剧降	好，在–40℃时仍可使用
循环充电电压	14.6V	14.1V
浮充充电电压	13.6V	13.6V

4）风力发电机　风力发电机是将风能转换为机械功的动力机械，又称风车。它是将风能转化为电能的装置，主要由叶片、发电机、机械部件和电气部件组成。根据旋转轴的不同，风力发电机主要分为水平轴风力发电机和垂直轴风力发电机两类，目前市场上水平轴风力发电机占主流位置。水平轴风力发电机是指旋转轴与叶片垂直，一般与地面平行，旋转轴处于水平的风力发电机。垂直轴风力发电机是指旋转轴与叶片平行，一般与地面垂直，旋转轴处于垂直的风力发电机。

风力发电机由机头、转体、尾翼、叶片组成。叶片用来接受风力并通过机头转为电能；尾翼使叶片始终对着来风的方向从而获得最大的风能；转体能使机头灵活地转动以实现尾翼调整方向的功能；机头的转子是永磁体，定子绕组切割磁力线产生电能。

风力发电机因风量不稳定，故其输出的是 13～25V 变化的交流电，须经充电器整流，再对蓄电瓶充电，使风力发电机产生的电能变成化学能。风力发电机组采用先进的稀土材料研制，大幅度降低了风力发电机的机械阻力和摩擦阻力，从而使风力发电机的启动风速大幅度降低。风速为 2.5m/s 左右时开始发电，这就使得低风速区的风力资源得到更充分的应用，同时还大幅提高了风能利用率，在相同风速下，和国内外先进水平的同型号风力发电机

相比，可增加发电输出功率 20%左右。广州红鹰能源科技有限公司生产的风力发电机，功率为 400～3000W。采用三相永磁发电机，发电效率比国内外同类优秀小型风力发电机高约 10%。电机采用 H 级绝缘，2～3m/s 风速年平均发电量比同功率风力发电机高约 60%，5～6m/s 风速年平均发电量高约 40%。风力发电机的参数如图 7-17 所示。



HY400H风力发电机

风轮直径：1.5m
启动风速：2.5m/s
切入风速：3.0m/s
额定风速：12m/s
额定功率：400W
额定电压：DC 12/24V
叶片数量：3叶片
最大风抗：50m/s
大风保护：叶片失速，电磁制动，卸荷器
认证：CE、RoHS、ISO9001、cETL



HY400L风力发电机

风轮直径：1.55m
启动风速：2m/s
切入风速：2.5m/s
额定风速：12m/s
额定功率：400W
额定电压：DC 12/24V
叶片数量：5叶片
最大风抗：50m/s
大风保护：叶片失速，电磁制动，卸荷器
认证：CE、RoHS、ISO9001、cETL



HY600L风力发电机

风轮直径：1.75m
启动风速：2.0m/s
切入风速：2.5m/s
额定风速：12m/s
额定功率：600W
额定电压：DC 24/48V
叶片数量：5叶片
最大风抗：50m/s
大风保护：叶片失速，电磁制动，卸荷器
认证：CE、RoHS、ISO9001、cETL



HY1000L风力发电机

风轮直径：1.98m
启动风速：2.0m/s
切入风速：2.5m/s
额定风速：12m/s
额定功率：1000W
额定电压：DC 24/48V
叶片数量：5叶片
最大风抗：50m/s
大风保护：叶片失速，电磁制动，卸荷器
认证：CE、RoHS、ISO9001、cETL

图 7-17　风力发电机的参数



选用 HY400 风力发电机的用户建议配用 150A · h/12V 的铅酸蓄电池；选用 HY600 与 HY1000 的用户配用 200A · h/12V 的铅酸蓄电池。铅酸蓄电池组的负极应保持良好的接地。铅酸蓄电池的最终容量选择则必须根据用户的用电负荷来合理配置。

小型风力发电机技术规范与性能参数要求：

☺ GB/T 17646—2013《小型风力发电机组 设计要求》
☺ GB/T 18451.2—2012《风力发电机组 功率特性测试》
☺ GB/T 13981—2009《风力机设计通用要求》
☺ GB/T 17646—2013《小型风力发电机组 设计要求》
☺ GB/T 19068.1—2003《离网型风力发电机组 第 1 部分：技术条件》
☺ GB/T 19068.2—2003《离网型风力发电机组 第 2 部分：试验方法》
☺ GB/T 19068.3—2003《离网型风力发电机组 第 3 部分：风洞试验方法》

☺ GB/T 19069—2003《风力发电机组控制器 技术条件》
☺ GB/T 19070—2003《风力发电机组 控制器 试验方法》
☺ GB/T 19071.1—2003《风力发电机组 异步发电机 第 1 部分：技术条件》
☺ GB/T 19071.2—2003《风力发电机组 异步发电机 第 2 部分：试验方法》
☺ GB/T 19068.1—2003《离网型风力发电机组 第 1 部分：技术条件》
☺ GB/T 19068.2—2003《离网型风力发电机组 第 2 部分：试验方法》
☺ GB/T 19068.3—2003《离网型风力发电机组 第 3 部分：风洞试验方法》
☺ GB/T 19115.1—2003《离网型户用风光互补发电系统 第 1 部分：技术条件》
☺ GB/T 19115.2—2003《离网型户用风光互补发电系统 第 2 部分：试验方法》
☺ GB/T 10760.1—2003《离网型风力发电机组用发电机 第 1 部分：技术条件》
☺ GB/T 10760.2—2003《离网型风力发电机组用发电机 第 2 部分：试验方法》
☺ NB/T 34002—2011《农村风光互补室外照明装置》
☺ QB/T 4146—2010《风光互补供电的 LED 道路和街路照明装置》

3. 风光互补 LED 路灯的系统配置

1）太阳能板选型 风光互补 LED 路灯系统（60W）需要提供的电量为

60W×12h÷0.9（控制器效率）÷0.85（电池效率）÷0.90（直流驱动变换器效率）÷（1–0.05）（线损）=1101W·h

1101W·h÷（5.2h×0.6）（安装地区的日平均日照时间）=352.88W

根据经验选用 300W 的太阳能板。

2）蓄电池选型 假设连续 3 天阴雨无风，蓄电池需要提供的电量为

（60W×12h×4）÷0.85（放电效率）÷（1–0.02）（线损）÷0.95（控制器效率）=3639W·h

蓄电池的最低安时数为 3639W·h÷24V=152A·h。

选用两个 12V 120A·h 的蓄电池可满足要求。在连续 3 天阴雨情况下，也能使负载正常运行。

3）风力发电机选型 风力发电机的输出功率与当地的气象条件、安装位置、周边环境关系密切，在风力资源充足、位置风力强劲或周围环境比较空旷的环境条件下，发电机输出功率大，反之则输出功率较小。

根据功率曲线，以 2.8m/s 的年平均风速，则平均每月的发电量为 21.6kW·h，平均每天的供电量在 720W·h。根据经验选择 400W 风力发电机即可满足要求,不足部分由太阳能电池补足。

平均每天风光互补控制能提供 400W×5.2h×0.6+720W·h=1968W·h 的电量。而负载与损耗每天的耗电量在 1468W·h 左右，因此本系统每天能够给负载提供足够的电量，而且能使蓄电池大部分时间内保持在充满或接近充满状态。

4）风光互补路灯控制器选型 风光互补路灯控制器是离网发电系统中最核心的部件，其性能影响到整个系统的寿命和运行稳定性，特别是蓄电池的使用寿命。控制器除了保护蓄电池外，还起到保护风机的作用，在风速过高时确保不至于出现风机飞车的现象。要根据蓄

电池工作电压、太阳能板的功率及风机功率选择合适的风光互补路灯控制器。



风光互补路灯控制器工作电压有 DC 12V、24V、48V、220V、240V 等，控制风机功率为 0.3~20kW。

60W 风光互补 LED 路灯的系统配置如表 7-6 所示。

表 7-6　60W 风光互补 LED 路灯的系统配置

（a）系统配置方案（一）					
序号	名　　称	型　　号	数量	单　　位	备　　注
1	风力发电机	400W AC 24V	1	台	
2	太阳能电池板	200W DC 36V	2	块	单晶硅，高转换效率（＞17.5%）
3	风光互补控制器	WWS04-24-N00D（DC 24V）	1	台	蓄电池过充、防反接保护；太阳能防反充、防反接保护；风机过转速、过风速、过电压、过电流保护；手动刹车、自动刹车保护等
4	蓄电池	DC 12V 120A·h	2	只	德国技术 NPP，长寿命胶体阀控式
5	风光互补灯杆	8m，4mm 厚	1	支	带控制柜、光伏电池支架、灯臂，具备抗 16 级台风能力
6	LED 灯头	DC 24V 60 W	1	只	
7	电缆	二芯 2.5mm^2 电缆 10m（RVV- 3×2.5mm^2）	1	条	接 LED 灯用
8	电缆	二芯 4mm^2 电缆 14m（RVV- 2×4mm^2）	1	条	接光伏电池板
9	电缆	三芯 2.5mm^2 电缆 14m（RVV- 3×2.5mm^2）	1	条	接风力发电机
10	电缆	一芯 6mm^2 电缆 9m（RVV- 2×6mm^2）	1	条	接电池
11	附件	接线耳、绝缘套等		若干	
（b）系统配置方案（二）					
序号	名　　称	型　　号	数量	单　　位	备　　注
1	风力发电机	400W AC 24V	1	台	
2	太阳能电池板	100W DC 18V	2	块	单晶硅，高转换效率（＞17.5%）
3	风光互补控制器	WWS04-24-N00D（DC 24V）	1	台	蓄电池过充、防反接保护；太阳能防反充、防反接保护；风机过转速、过风速、过电压、过电流保护；手动刹车、自动刹车保护等
4	蓄电池	DC 12V 150A·h	2	只	德国技术 NPP，长寿命胶体阀控式
5	风光互补灯杆	8m，4mm 厚	1	支	带控制柜、光伏电池支架、灯臂，具备抗 16 级台风能力
6	LED 灯头	DC 24V 60W	1	只	
7	电缆	二芯 2.5mm^2 电缆 10m（RVV- 3×2.5mm^2）	1	条	接 LED 灯用
8	电缆	二芯 4mm^2 电缆 14m（RVV- 2×4mm^2）	1	条	接光伏电池板
9	电缆	三芯 2.5mm^2 电缆 14m（RVV- 3×2.5mm^2）	1	条	接风力发电机
10	电缆	一芯 6mm^2 电缆 9m（RVV- 2×6mm^2）	1	条	接电池
11	附件	接线耳、绝缘套等		若干	

4．风光互补 LED 路灯的安装

风光互补 LED 路灯系统工程示意图如图 7-18 所示。风光互补 LED 路灯系统由太阳能电池板组件、风力发电机、蓄电池、LED 路灯头、控制器（风光互补控制器）、电池地埋箱、灯杆 7 部分组成。

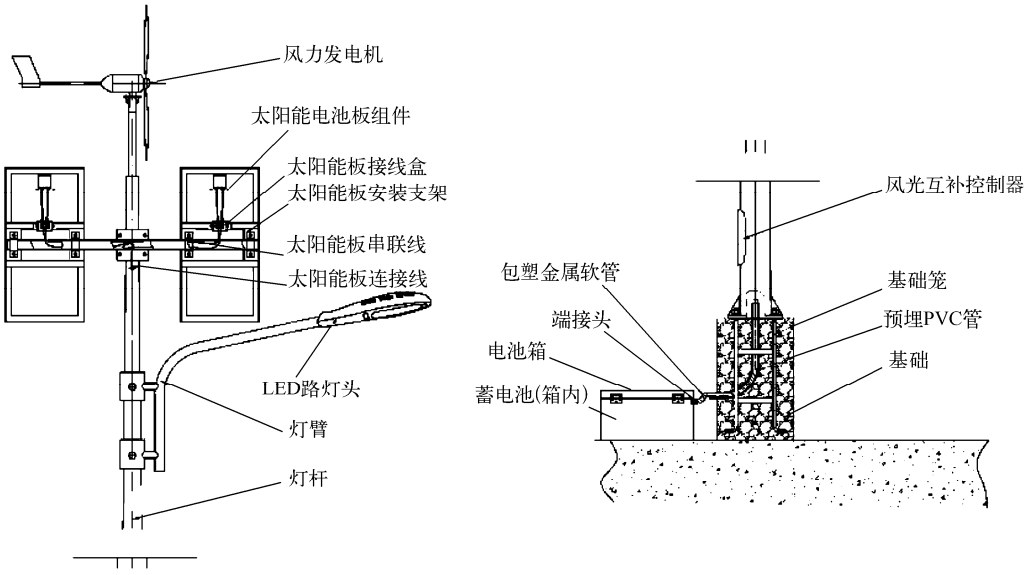


图 7-18　风光互补 LED 路灯系统工程示意图

- ☺ 太阳能板支架及太阳能板安装，将太阳能板支架组装好固定到灯杆相应位置，然后将太阳能板固定到安装支架上。
- ☺ 用钢丝牵引，将风力发电机、太阳能板、路灯头连接电缆及太阳能板串联电线穿好。
- ☺ 先按风力发电机组装说明将其组成整体；把风力发电机连接电缆与风力发电机连接好（注意正负极性）；将风力发电机固定在灯杆的顶部。
- ☺ 将两接线盒固定到太阳能板支架上，按接线原理图将太阳能板串联线及输出电缆接好，并盖上接线盒盖。
- ☺ 将路灯头引入电缆接好，接线注意正负极性；然后将灯头固定到灯臂上，灯臂伸入灯内长度不得低于 105mm，最好是抵到灯内“止位”。
- ☺ 用吊车将路灯杆竖起来，并与基础对接，调整方位后，用地脚螺栓将灯杆固定，吊装时绳索最好系在灯杆与灯臂连接处，以免损伤太阳能板和风力发电机。
- ☺ 将风光互补控制器固定到电器门内，并按接线原理图将风光互补控制器、路灯头、太阳能板的连接线接好。
- ☺ 按当地环境将电池箱固定在离灯杆尽量近的地方，放置水平且最好垫高 50 ~ 100mm；将端接头固定到电池箱上；再将包塑金属软管与端接头相接，金属软管的另一端穿入基础的 PVC 预埋管中，一直伸到灯杆内。

风光互补控制器接线示意图及风光互补 LED 路灯安装流程图如图 7-19 所示。

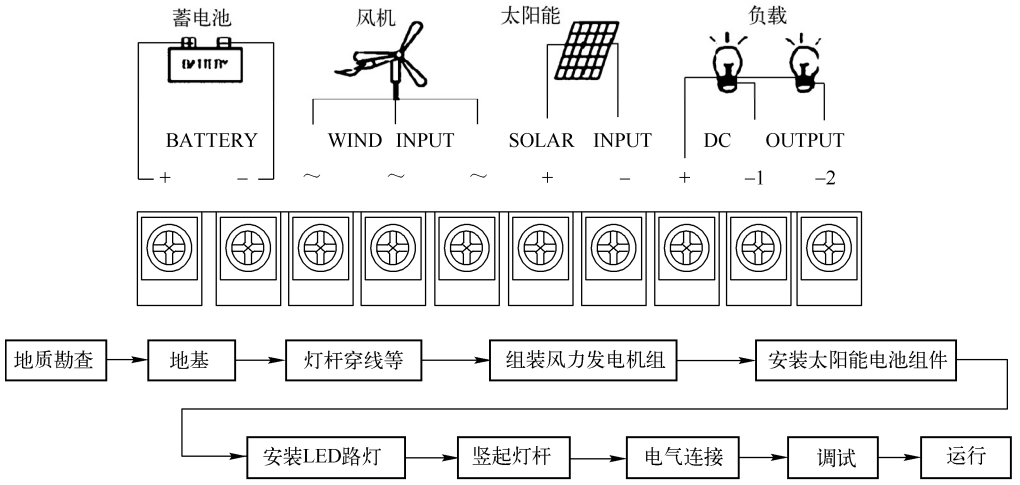


图 7-19　风光互补控制器接线示意图及风光互补 LED 路灯安装流程图



☺ 用 6mm^2 及以上铜芯电缆，将蓄电池与设备“BATTERY”端子相连接。蓄电池反接保护，严禁蓄电池接反。

☺ 在风力发电机处于静止或低速运转状态下，将风力发电机输出线与设备的“WIND INPUT”端子相连接；若风力发电机为单相直流输入，将风力发电机的正负输出线接入对应的“WIND INPUT”的“+”、“–”即可。

☺ 太阳能电池板正负极与设备的“SOLAR INPUT”、“+”、“–”端子相连接。

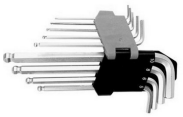
☺ 将直流负载与“DC OUTPUT”端子连接。两路负载共用一个正极，将 1 路负载连接到“DC OUTPUT”的“+”和“–1”；将 2 路负载连接到“DC OUTPUT”的“+”和“–2”。

风光互补 LED 路灯安装工具及辅助材料如表 7-7 所示。

表 7-7　风光互补 LED 路灯安装工具及辅助材料

序号	名　称	图　示	作　用	备　注
1	一字螺丝刀		用来拧转螺钉以迫使其就位的工具	
2	十字螺丝刀			
3	剥线钳		剥除电线头部的表面绝缘层	内线电工
4	活动扳手		开口宽度可在一定范围内调节，是用来紧固和起松不同规格的螺母和螺栓的一种工具	

续表

序号	名　称	图　示	作　用	备　注
5	万用表		电力电子等部门不可缺少的测量仪表，一般以测量电压、电流和电阻为主要目的	
6	钳流表		用于测量正在运行的电气线路的电流大小的仪表，可在不断电的情况下测量电流	
7	偏口钳		主要用于剪切导线、元器件多余的引线	斜口钳
8	热风枪		利用发热电阻丝的枪芯吹出的热风来对元件进行焊接与摘取元件或收缩热缩管的工具	
9	力矩扳手		既可初紧又可终紧，它的使用是先调节扭矩，再紧固螺栓	
10	指南针		磁针在天然地磁场的作用下可以自由转动并保持在磁子午线的切线方向上，磁针的北极指向地理的北极，利用这一性能可以辨别方向	
11	热缩套管		为电线、电缆和电线端子提供绝缘保护	
12	羊角锤		一般羊角锤的一头是圆的，一头扁平向下弯曲并且开 V 口，目的是为了起钉子	2kg 左右
13	压线钳		用来压制水晶头的一种工具	电话线接头和网线接头都是用驳线钳压制而成的
14	成套内六角扳手		通过扭矩施加对螺丝的作用力，大大降低了使用者的用力强度，是工业制造业中不可或缺的得力工具	

续表

序号	名　称	图　示	作　用	备　注
15	卷尺		常用的工量具。钢卷尺在建筑和装修常用，也是家庭必备工具之一	
16	成套套筒扳手		利用杠杆原理拧转螺栓、螺钉、螺母和其他螺纹紧持螺栓或螺母的开口或套孔固件的手工工具	
17	手动玻璃胶枪		挤出玻璃胶的工具	
18	玻璃胶		家庭常用的黏合剂，主要成分为硅酸钠、醋酸及有机性的硅酮	
19	手电钻		以交流电源或直流电池为动力的钻孔工具，由钻夹头、输出轴、齿轮、转子、定子、机壳、开关和电缆线构成	13mm，4 ～ 12mm 钻头
20	钢丝		用热轧盘条经冷拉制成的再加工产品	ϕ2mm



（1）地基基础坑开挖尺寸应符合设计规定，基础混凝土强度等级不应低于 C20，基础内电缆护管从基础中心穿出并应超出基础平面 30 ~ 50mm。浇制钢筋混凝土基础前必须排除坑内积水。按要求预埋 PVC 管，PVC 管高出基础顶面 100mm 以上，另一端从基础侧面穿出，约离定位法兰垂直距离 500mm；待基础固化后，就可以安装路灯了。

（2）安装太阳能电池组件，按设计高度将组件支架固定在灯杆上，注意角度应与设计要求一致。将太阳能电池组件与组件支架固定好。确定无误后，将太阳能电池板遮挡，将组件引线与太阳能电池组件接线盒相连接，注意正负极。

（3）太阳能电池组件的方位角是指组件的垂直面与正南方向的夹角（向东偏设定为负角度，向西偏设定为正角度）。一般情况下，组件朝向正南（即组件垂直面与正南的夹角为 0° ）时，组件发电量是最大的。在偏离正南（北半球）30° 度时，组件的发电量将减少 10% ~ 15%；在偏离正南（北半球）60° 时，组件的发电量将减少 20% ~ 30%。

（4）倾斜角是太阳电池方阵平面与水平地面的夹角，并希望此夹角是方阵一年中发电量为最大时的最佳倾斜角度。一年中的最佳倾斜角与当地的地理纬度有关，由于地球的自转轴和公转轨道不是垂直的。在我们看来，不同季节，太阳的角度是不同的，有±23.4° 的变化。

我国主要 30 个城市平均日照及最佳安装倾角如表 7-8 所示。

表 7-8　我国主要 30 个城市平均日照及最佳安装倾角

序号	城市	纬度	最佳倾角	平均日照小时	序号	城市	纬度	最佳倾角	平均日照小时
1	北京	39.8	纬度+4	5	16	杭州	30.23	纬度+3	3.43
2	天津	39.10	纬度+5	4.65	17	南昌	28.67	纬度+2	3.80
3	哈尔滨	45.68	纬度+3	4.39	18	福州	26.08	纬度+4	3.45
4	沈阳	41.77	纬度+1	4.60	19	济南	36.68	纬度+6	4.44
5	长春	43.90	纬度+1 4	4.75	20	郑州	34.72	纬度+7	4.04
6	呼和浩特	40.78	纬度+3	5.57	21	武汉	30.63	纬度+7	3.80
7	太原	37.78	纬度+5	4.83	22	广州	23.13	纬度−7	3.52
8	乌鲁木齐	43.78	纬度+12	4.60	23	长沙	28.20	纬度+6	3.21
9	西宁	36.75	纬度+1	5.45	24	香港	22.00	纬度−7	5.32
10	兰州	36.05	纬度+8	4.40	25	海口	20.03	纬度+12	3.84
11	西安	34.30	纬度+14	3.59	26	南宁	22.82	纬度+5	3.53
12	上海	31.17	纬度+3	3.80	27	成都	30.67	纬度+2	2.88
13	南京	32.00	纬度+5	3.94	28	贵阳	26.58	纬度+8	2.86
14	合肥	31.85	纬度+9	3.69	29	昆明	25.02	纬度−8	4.25
15	拉萨	29.70	纬度-8	6.70	30	银川	38.48	纬度+2	5.45



方位角是指太阳电池方阵的方位角，是方阵的垂直面与正南方向的夹角（向东偏设定为负角度，向西偏设定为正角度）。

5. 风光互补 LED 路灯的安装注意事项

☺ 合理调整太阳能电池板组件安装倾角。

☺ 太阳能电池组件的输出正负极在连接到控制器前须采取措施避免短接，注意正负极不要接反；太阳能电池组件的输出线应避免裸露导体。

☺ 太阳能电池组件与支架连接时要牢固可靠，各紧固件拧紧。

☺ 蓄电池放入电池箱内时须轻拿轻放，防止砸坏电池箱。



（1）蓄电池坑分为直接土埋和砖砌电池坑两种，土埋蓄电池坑是蓄电池安装完毕后，直接用黄土或细沙土进行填埋，注意初步填埋土质不要含有石子或石头等杂物，保证一段时间后土质下沉不会将线缆压坏。

（2）砖砌电池坑为大小适用的砖砌坑，上面由水泥盖板覆盖，使蓄电池在一个良好的环境内存放。规格要求：大小能安装足够的蓄电池及电池箱，高度要求与蓄电池箱顶部平齐，防止蓄电池坑因进水而使蓄电池箱根据水位上浮，使蓄电池长期泡制在积水中。如果蓄电池坑高度过高，应用砖或其他坚硬物平压在蓄电池箱上部，使蓄电池箱与盖板顶实，以至于电池箱不会因为水位上升而上浮，这样蓄电池内的气压会使蓄电池箱内部水位保持在一定高度后不再上升。盖板要求内有一定钢筋，能够承受住大量的黄土覆盖，要有把手以便日后蓄电池维修。

☺ 蓄电池之间的连接线必须连接牢固，并压紧（但拧螺栓时要注意扭力，不要将电池接线柱拧坏），确保端子与接线柱导电良好；所有串、并联导线禁止短接和错接，避免损坏蓄电池。
☺ 风光互补控制器连线不允许接错，连接之前请先对照接线图。
☺ 太阳能路灯以太阳辐射为能源，照射在光电池组件上的阳光是否充裕直接影响灯具的照明时间，安装位置应远离高楼，且无树叶等遮挡物的地方。
☺ 穿线时一定要注意不要损坏导线绝缘层，导线的连接牢固，可靠导通。

6. 风光互补 LED 路灯的设计

☺ 根据用户负荷状况，选择灯杆、灯源，确定路灯的工作电压、额定功率、工作时数等。
☺ 路灯应根据道路的具体照明要求来设计，通过道路宽度、周围环境、车辆通过流量等设计灯杆、组件、安装支架、灯挑臂，整体造型。然后确定灯高、照度、灯距，确定灯源、灯罩。
☺ 确定风力发电机组及太阳能电池组件的总功率。
☺ 选择风力发电机组及太阳能电池组件的型号，确定及优化系统的结构。
☺ 确定系统内其他部件（蓄电池、风光互补控制器、控制/逆变器、辅助后备电源等）。
☺ 确定电控箱尺寸大小及位置。
☺ 工程整体布局等。
☺ 确定是否预留市电。

7. 蓄电池安装要求

☺ 蓄电池坑必须要用沙子、石子垫底，填平后铺砖，然后摆放蓄电池。
☺ 蓄电池摆放到位后，按照系统要求接蓄电池电路，要求线缆必须带有线鼻，线鼻连接处必须要套有热缩管，避免因铜线裸露处进水或玻璃胶的酸性腐蚀而使线缆氧化断裂。
☺ 蓄电池电极柱上连接线鼻子必须用螺丝紧固，然后涂密封胶防水。防止密封胶凝固后紧缩，导致接线柱外漏。
☺ 蓄电池箱倒扣时，注意将电缆放置到蓄电池箱留有的线槽内，防止蓄电池一旦下沉，蓄电池箱的边缘可能会将电缆切断，从而导致整个路灯供电系统瘫痪。

8. 风光互补 LED 路灯安装

1）电气安装步骤

☺ 根据接线图进行电池板串并联接线，确保正负极连接正确，检验电源线上电压输出是否正常，如不正常则检查接线是否有误。
☺ LED 路灯灯头、灯罩组装、穿线、接线，确保正负极连接正确。
☺ 验证光源和其线路是否有问题，有问题的话查出原因及时解决。
☺ 蓄电池安装，连线做好端子，穿线，串并联接线，确保正负极连接正确。
☺ 风光互补控制器接线，先接蓄电池后接电池板再接负载，最后接风力发电机，确保正负极连接正确。

☺ 系统调试，时控时间按设计时间调整。

2）电池板接线

☺ 检查电池组件背后的铭牌，核对规格、型号、数量。

☺ 检查电池组件表面是否有破损、划伤。

☺ 接线前要详细检查正负极标识，确保正负极连接正确，建议再用万用表验证一下，以防标识错误等现象。

☺ 按接线图进行串并联接线，不能私自改动连接方式。电线一般采用双芯护套铜软线，一般为红黑两种颜色，红色作为正极，黑色作为负极。线芯为其他两种颜色的，深色的作为负极，另一个作为正极。

☺ 接线后，将电池板朝向太阳，用万用表检测电源线输出端，正负是否正确，开路电压是否在合理范围内。系统电压为 12V 的，开路电压值应在 18～23V 范围；系统电压为 24V 的，开路电压值应在 35～45V 范围内。

☺ 如开路电压在合理范围内则进行下一步，不是则检测每一块电池组件输出是否正常，线路连接是否正确，直到正确为止。



电池组件在安装过程中要轻拿轻放，避免工具等器具对其造成损坏。不要同时触摸太阳电池组件和蓄电池的“+”、“－”极，以防触电危险。注意正负极，严禁接反，接线端子压接牢固，无松动，严禁使电池组件短路。

3）LED 路灯接线

☺ 核对 LED 路灯光源规格、型号、数量是否符合设计要求。

☺ 按接线图进行接线，不能私自改动连接方式，电线一般采用双芯护套铜软线，一般为红黑两种颜色，红色作为正极，黑色作为负极，线芯为其他两种颜色的，深色的作为负极，另一个作为正极。

☺ 接线后，检测光源是否完好，线路是否有问题。将光源引出线与蓄电池两端电极相接，点亮则代表线路正常，不亮则回路中有故障。

☺ 灯具安装好吊装以前，要用蓄电池再进行一次测试，看灯具是否能够点亮。

4）蓄电池接线

☺ 检查蓄电池标识，核对规格、型号、数量是否符号设计要求。

☺ 检查蓄电池表面是否有破损、划伤、漏液等情况。

☺ 接线前认准正负极标识，标有红色的为正，标有黑色的为负，确保正负极连接正确。

☺ 按接线图进行串并联接线，不能私自改动连接方式。电线一般采用双芯护套铜软线，一般为红黑两种颜色，红色作为正极，黑色作为负极。线芯为其他两种颜色的，深色的作为负极，另一个作为正极。

☺ 接线后，电源线输出端要用绝缘胶布缠好。

5）吊装

☺ 灯杆起吊之前，先检查各部位紧固件是否牢固，灯头安装是否端正，太阳能板朝向

是否正确。

☺ 用软质吊带选择合适的吊点位置，并系好解索绳，待吊装完成后解脱吊带。

☺ 起吊安装后，锁紧法兰部位的螺杆螺丝。打开灯杆上的电气控制箱门，将控制器悬挂在灯杆内壁上。

6）风光互补控制器接线

☺ 检查风光互补控制器标识，核对规格、型号、数量是否符合设计要求。

☺ 确保风光互补控制器功能符合要求，风光互补控制器规格与蓄电池、太阳能电池组件、风机及负载的电压、电流相匹配。

☺ 检查风光互补控制器表面是否有破损、划伤。

☺ 接线前要认准风光互补控制器上的太阳电池组件、风力发电机、蓄电池、负载（LED路灯）的标识符号、接线位置和正负极符号。

☺ 灯杆吊装完成后进行风光互补控制器的接线，严格按照风光互补控制器的接线要求进行接线，其接线顺序为先接蓄电池，再接太阳能电池板与风机，最后接负载；拆线时顺序相反。蓄电池、太阳能电池板接线时注意正负极不得接反，不得短路。

☺ 按接线图进行串并联接线，不能私自改动连接方式。电线一般采用双芯护套铜软线，一般为红黑两种颜色，红色作为正极，黑色作为负极。线芯为其他两种颜色的，深色的作为负极，另一个作为正极。

☺ 在有光照的情况下（且太阳能电池输出电压大于蓄电池端电压），风光互补控制器的光电指示灯应该工作（常亮或闪烁），用钳表直流挡测量应有电流输出，输出电流大小取决于光照强度与蓄电池容量。

☺ 线路通电后，按控制器说明书中指示，看控制器上显示（LED或LCD）是否正常，如有故障信息，按说明书提示排除故障。

7）风力发电机安装

☺ 风力发电机的交流输出连接到控制器前须采取措施进行短接。

☺ 风力发电机与支架连接时要牢固可靠，风力发电机的输出线应避免裸露，并用扎带扎牢。

☺ 风力发电机安装可以参照《用户手册》。

☺ 在有风的情况下风机运转是否正常，达到或超过切入风速时风光互补控制器风机充电指示灯应该工作（常亮或闪烁），用钳表交流挡测量风机输出端应有电流输出，输出电流大小取决于风速与蓄电池容量。

☺ 连接线建议按照不大于5A/mm^2的电流密度进行选取。

7.3 太阳能LED路灯设计

1. 太阳能LED路灯系统介绍

1）太阳能电池板 太阳能电池组件由高效晶体硅太阳能电池片、超白布纹钢化玻璃、

EVA、透明 TPT 背板及铝合金边框组成，具有使用寿命长、机械抗压外力强等特点。单晶硅太阳能电池的光电转换效率为17%左右，最高达到 24%。在一般正常状态下，系统的太阳电池组件的最小功率应能保证提供系统日平均最低发电电量，并且是日平均最低耗电量的 1.8 倍以上。太阳能电池板的外形如图 7-20 所示。

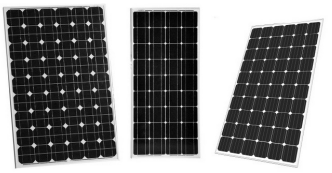


图 7-20　太阳能电池板的外形



光电转换效率是指入射到光电组件表面的能量与其输出能量之比。单晶硅太阳能板的光电转换效率为 15%左右，最高达到 24%。使用寿命一般可达 15 年，最高可达 25 年。

单晶硅和多晶硅主要区别如下：

（1）电池片形状不同。多晶硅是 156mm×156mm 的正方形片子，单晶硅一般是 125mm×125mm 的“类八边形”。

（2）转换效率不同。多晶硅转换效率平均在 16%~17%，单晶硅转换效率平均在 18%左右。生产过程大致可分为提纯过程→拉棒过程→切片过程→制电池过程→封装过程 5 个步骤。

单晶太阳能组件的参数如表 7-9 所示。

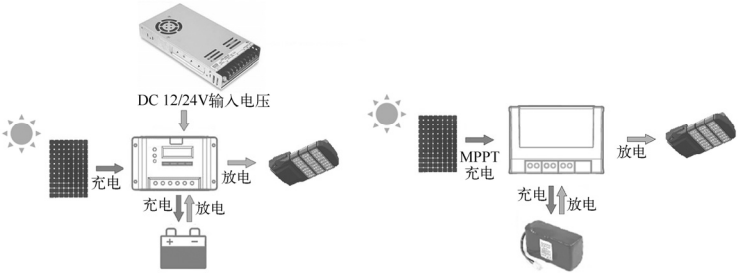
表 7-9　单晶太阳能组件的参数

型　　号	电池片	功率（W）	最大工作电压（V）	最大工作电流（A）	短路电流（V）	开路电压（V）	尺寸（mm）	重量（kg）
CS-M125-90W	单晶 125	90	18.00	5.00	5.65	21.6	1200×545×35	7.5
CS-M125-100W	单晶 125	100	18.50	5.11	6.11	22.20		
CS-M125-120W	单晶 125	120	17.50	6.86	7.75	21.00	1220×808×35	11
CS-M125-130W	单晶 125	130	17.50	7.43	8.39	21.00		
CS-M125-140W	单晶 125	140	18.20	7.69	8.69	21.84		
CS-M125-150W	单晶 125	150	35.20	4.26	4.82	43.20	1580×808×35	15
CS-M125-160W	单晶 125	160	35.20	4.55	5.14	43.20		
CS-M125-170W	单晶 125	170	35.50	4.79	5.41	43.20		
CS-M125-180W	单晶 125	180	35.50	5.07	5.73	43.20		
CS-M125-190W	单晶 125	190	36.00	5.28	5.96	43.20		
CS-M125-200W	单晶 125	200	36.00	5.48	6.19	43.80		

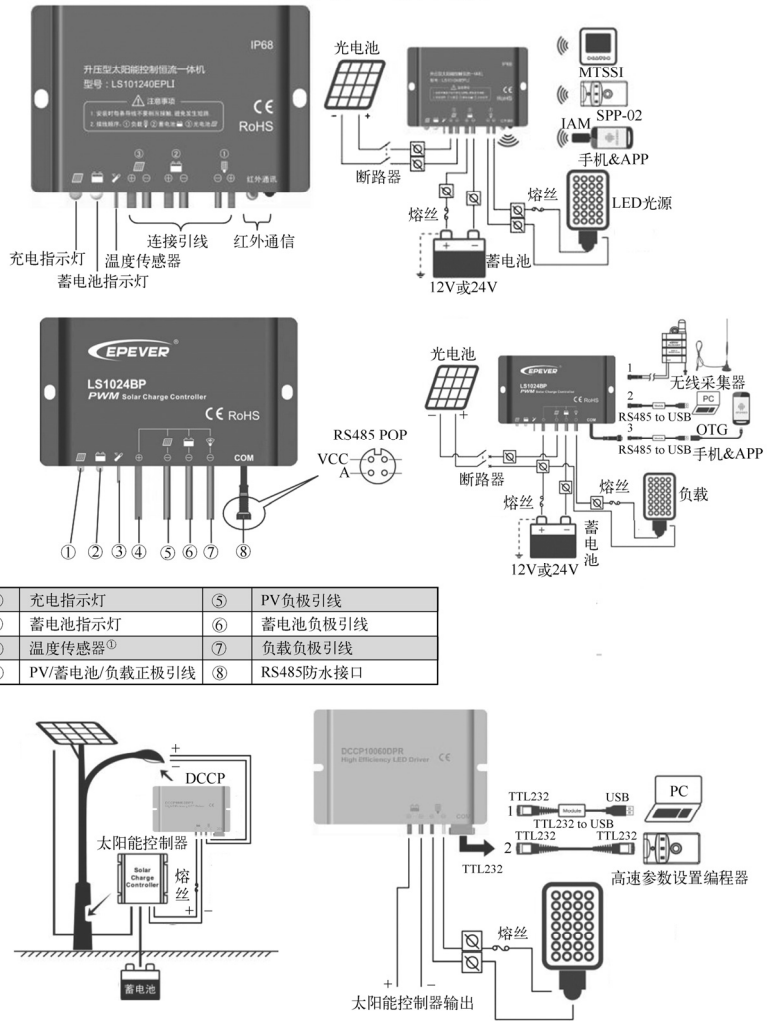
2）太阳能控制器　控制器是专为太阳能直流供电系统、太阳能直流路灯系统设计，并使用了专用计算机芯片的智能化控制器。具有短路、过载、独特的防反接保护，充满、过放自动关断、恢复等全功能保护措施，详细的充电指示、蓄电池状态、负载及各种故障指示。控制器通过计算机芯片对蓄电池的端电压、放电电流、环境温度等涉及蓄电池容量的参数进行采样，通过专用控制模型计算，实现符合蓄电池特性的放电率、温度补偿修正的高效、高

准确率控制，并采用了高效 PWM 蓄电池的充电模式，保证蓄电池工作在最佳状态，大大延长蓄电池的使用寿命。

太阳能控制器以北京汇能精电科技股份有限公司生产的控制器为例，操作控制器参照太阳控制器的说明书。太阳能 LED 路灯及控制器接线示意图如图 7-21 所示。



（a）太阳能LED路灯示意图



①	充电指示灯	⑤	PV负极引线
②	蓄电池指示灯	⑥	蓄电池负极引线
③	温度传感器①	⑦	负载负极引线
④	PV/蓄电池/负载正极引线	⑧	RS485防水接口

（b）太阳能控制器接线示意图

图 7-21　太阳能 LED 路灯及控制器接线示意图



（1）太阳能充放电控制器的主要作用是保护蓄电池。基本功能必须具备过充保护、过放保护、光控、时控、防反接、充电涓流保护、欠压保护、防水保护等。

（2）目前也有太阳能 LED 照明恒流控制一体机，是集太阳能充电控制器和 LED 光源恒流控制器于一体的新型控制器，可以通过对控制器设置（数码管显示），达到调光（全功率、半功率等）、控制开关灯的效果，目前也可通过红外通信方式修改负载控制方式及负载的开关状态。

（3）太阳能市电互补控制器是集市电、太阳能和 LED 光源恒流控制器于一体的新型 LED 路灯防水控制器，采用太阳能和市电双路互补为蓄电池充电，且太阳能充电优先，最大化地利用清洁能源；具有高供电保障率、高可靠性。

（4）锂电池的太阳能路灯要采用锂电池（磷酸铁锂电池）太阳能控制器，其系统集太阳能充放电控制器和 LED 恒流、太阳能板、LED 路灯于一体，采用串联型脉宽调制（PWM）充电技术和全数字技术自动控制充电和放电过程，延长锂电池寿命，提高系统性能。

（5）磷酸铁锂电池是指用磷酸铁锂作为正极材料的锂离子电池。

（6）PWM 充电方式是用自动变换占空比的脉冲电流对蓄电池进行充电，减少了析气量，提高了蓄电池对充电电流的接受率。

（7）MPPT 控制器利用最大功率点跟踪技术从太阳能阵列中提取最大的功率为蓄电池充电。

3）蓄电池 太阳能电池电源系统的储能装置主要是蓄电池，与太阳能电池方阵配套的蓄电池通常工作在浮充状态下，其电压随方阵发电量和负载用电量的变化而变化。它的容量比负载所需的电量大得多，蓄电池提供的能量还受环境温度的影响。蓄电池的种类一般有铅酸蓄电池、Ni-Cd 蓄电池、Ni-H 蓄电池等。在太阳能 LED 路灯中常用的免维护铅酸蓄电池，由于自身结构上的优势，电解液消耗量非常小，在使用寿命内不需补充蒸馏水，还具有耐震、耐高温、体积小、自放电小的特点。

蓄电池容量的选择原则如下：

☺ 在能满足夜晚照明的前提下，把白天太阳能组件产生的能量存储起来，同时还要存储满足连续阴雨天夜晚照明需要的电能。

☺ 蓄电池容量过小不能满足夜晚照明的需要，而蓄电池容量过大一方面使蓄电池始终处在亏电状态，影响蓄电池的使用寿命，另外也造成了浪费。

☺ 蓄电池应与太阳能光伏板、负载功率相匹配。



（1）目前广泛采用的有铅酸免维护蓄电池、普通铅酸蓄电池和碱性镍镉蓄电池 3 种，国内目前主要使用铅酸免维护蓄电池。

（2）目前有一体化太阳能路灯在应用，是将集成光源、高容量锂电池、太阳能电池组（太阳能板）及太阳能 LED 照明恒流控制一体机一体化，直接安装就可以使用。

2．太阳能LED路灯系统的配置

1）太阳能路灯照明配置计算方法 合适的配置不仅能够让太阳能 LED 路灯系统工作更加稳定，而且能够降低更多成本。太阳能 LED 路灯照明系统配置的计算方法与下列因素有关：

☺ 太阳能LED路灯的功率。

☺ 太阳能LED路灯照明系统每天工作的时间。

☺ 当地平均峰值日照时间。

☺ 连续阴雨天数。

经验算法如下：

☺ 太阳能电池组件功率=LED 灯具总功率×用电时间×损耗系数（1.6～2.0)/当地峰值日照时间数

☺ 蓄电池容量=LED 灯具总功率×用电时间×阴雨天数×系统安全系数（1.4～1.8)/系统电压

理论算法如下：

☺ 蓄电池容量=总电流×持续时间/余量系数（0.7）

☺ 太阳能板功率=耗电总量/系统利用系数（0.6）/有效日照时间

以 12V 60W 的路灯为例，按每天使用小时数为 10h、连续阴雨天 4 天要求，在实际应用时，要结合当地的光照。

（1）计算电流 I。

$$I=60\text{W}\div12\text{V}=5\text{A}$$

（2）计算蓄电池容量 C，需要满足连续阴雨天 4 天的照明需求（4 天另加阴雨天前一夜的照明，计 5 天）。

$$\text{蓄电池容量 } C=5\text{A}\times10\text{h}\times(4+1)=5\text{A}\times50\text{h}=250\text{A}\cdot\text{h}$$

为了防止蓄电池过充和过放，蓄电池一般充电到 90％左右；放电余留 5％～20％。所以 250A·h 也只是应用中真正标准的 70％～85％。另外，还要根据负载的不同，测出实际的损耗，实际的工作电流受恒流源、线损等影响，可能会在 5A 的基础上增加 15％～25％。

（3）计算电池板的需求峰值功率 W_P。

路灯每夜照明时间需要为 10h，最少放宽对电池板需求 20％的预留额。电池板平均每天接受有效光照时间为 4.4h。

$$W_P\div17.4\text{V}\text{（太阳能板输出电压）}=(5\text{A}\times10\text{h}\times120\%)\div4.4\text{h}$$

$$W_P\div17.4\text{V}=13.64$$

$$W_P=240\text{W}$$

另外，在太阳能路灯组件中，线损、控制器的损耗及恒流源的功耗各有不同，实际应用中可能在 15％～25％。所以 240W 也只是理论值，根据实际情况需要有所增加。因而选取两块峰值功率为 120～125W_P 的太阳能电池组件为佳。至于具体的电池板和蓄电池的配置数量，与持续工作的时间是直接相关的，同时还跟电池板和蓄电池的功率、电压是相关的。不同的参数给出的配置不一样。



在太阳能路灯系统中，结构上一个需要非常重视的问题就是抗风设计。抗风设计主要分为两大块，一为电池组件支架的抗风设计，二为灯杆的抗风设计。

2）蓄电池和太阳能电池板设计的校核　对太阳能电池板和蓄电池的设计计算完成后，应该进行校核，以进一步了解系统运行中可能出现的情况，保证电池板的设计和蓄电池的设计可以协调工作。

（1）蓄电池平均每天的放电深度。校核蓄电池平均每天的放电深度，保证蓄电池不会过放电，如果设计的蓄电池自给天数很大，那么实际每天蓄电池放电深度可能相当小，无须校核。校核公式如下:

$$\text{蓄电池日放电深度} = \frac{\text{日放电量}}{\text{设计蓄电池容量}}$$

用所求的蓄电池日放电深度与蓄电池厂商提供的放电深度相比较，前者小于后者，则蓄电池可以安全工作，否则，应该重新对蓄电池进行设计。

（2）太阳能电池板对蓄电池的最大充电效率。在太阳辐射处于峰值时，电池板对蓄电池的充电率不能太大，否则会损坏蓄电池。最大充电率的校核公式如下:

$$\text{最大充电率} = \frac{\text{设计蓄电池容量}}{\text{设计电池板的峰值电流}}$$

蓄电池厂商将提供蓄电池的最大充电率，计算值如果小于该最大充电率，则设计安全，电池板对蓄电池的充电不会损坏蓄电池，否则要重新设计电池板功率。

3）太阳能电池板安装倾角计算　一般情况下，方阵朝向正南时，太阳能电池发电量是最大的。但是，在晴朗的夏天，太阳辐射能量最大的时刻是在中午稍后，因此方阵的方位稍微向西偏一些时，在午后时刻可获得最大发电功率。在不同的季节，太阳能电池方阵的方位稍微向东或西一些都有获得发电量最大的时候。方阵设置场所受到许多条件的制约。太阳能电池组件朝向正南方向。



（1）太阳能电池板安装在北半球时，尽可能使太阳能板朝向南方，以获取最大的光照能量；如果是在南半球，安装时太阳板朝向北方，同时需要避开房屋、树木等障碍物的阴影。

（2）太阳能板表面的清洁程度也会影响太阳能板的发电效率，所以其表面（如灰尘、树叶、油污等）是需要被清洁的，建议定期清洁刷洗即可。

3. 太阳能 LED 路灯的安装

1）太阳能 LED 路灯的安装流程

（1）灯杆选址要求。

☺ 根据路向和灯具光源位置，选择灯具光源朝向，满足路面最大照射面积。

☺ 太阳能路灯必须安装在光照充足、无遮挡的地方。太阳能电池组件朝向正南，保证

电池组件迎光面上全天没有任何遮挡物阴影。

☺ 当无法满足全天无遮挡时，要保证 9:30 ~ 15:30 间无遮挡。

☺ 太阳能灯具要尽量避免靠近热源，以防影响灯具使用寿命。

☺ 环境使用温度：–20 ~ 60℃。在比较寒冷的环境下，应适当加大蓄电池容量。

☺ 太阳能电池板上方不应有直射光源，以免使灯具控制系统误识别导致误操作。

（2）地基。

☺ 地基坑开挖

勘测地质情况，如果土质为坚硬土，在安装路灯的位置开挖长 800mm×宽 800mm×深 1200mm 的地坑；如果为松软土质或有特殊要求，开挖的长、宽、深另定。电池箱埋地位置紧邻基础左或右侧，尽量保持所有灯杆基础和电池箱的方向一致。

☺ 基础预埋件

基础预埋件的制作一定要规整，严格按照图纸要求加工制作；保证螺栓的间距误差在 ±2mm 之内，确保螺母能够顺畅旋进、旋出；螺杆的水平高度误差控制在 ±3mm 之内。

☺ 地基浇筑

将电池箱放入电池箱坑内，基础预埋件放在地基浇筑坑正中，然后将 PVC 管的一端放置在电池箱内，另一端从地基浇筑坑中基础件固定板正中穿出，最后以 C20 混凝土浇筑密实、牢固。地基基础如图 7-22 所示。

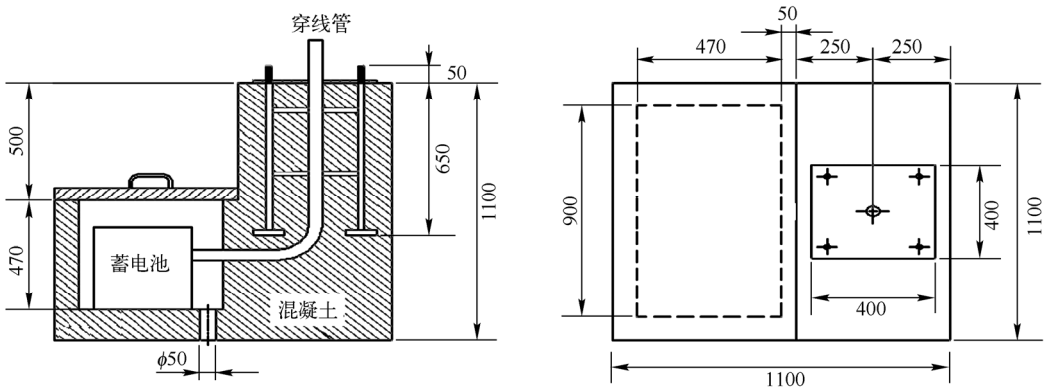


图 7-22　地基基础

2）太阳能 LED 路灯安装注意事项

☺ 组件方位正南方向，偏差不得超过 10°。

☺ 组件安装时螺杆必须拧紧，组件铝材内部必须垫有平垫。

光源安装要求：

☺ 在打开光源外壳时，首先观察光源内恒流源的接线情况，是否在出厂时有线路脱落情况。

☺ 接线安装时，线路要固定在光源内部，保证灯杆下部观察孔内的线缆不至于受到外力而使线缆脱落。

安装好的太阳能 LED 路灯如图 7-23 所示。



图 7-23　安装好的太阳能 LED 路灯

3）太阳能 LED 路灯常见故障处理　太阳能 LED 路灯常见故障处理如表 7-10 所示。

表 7-10　太阳能 LED 路灯常见故障处理

故 障 现 象	可 能 原 因	排 除 方 法
光源不亮	环境光线较强	光线低于一定的照度时，光源会自动启动
	光源损坏	更换同型号的新光源
	输出开路、短路或接地	检查输出线路连接处是否可靠
	蓄电池开路	检查蓄电池连接是否可靠
	熔丝烧坏	更换同型号的新熔丝
	蓄电池电压低于 12.3V	连续阴雨天超过设计天数造成蓄电池欠压，晴天可自动恢复。电池板连接开路或短路造成蓄电池欠压 蓄电池短路造成或损坏
	控制器损坏	维修或更换同型号新控制器
光源不适当时间亮	太阳能电池有遮挡物	清洁太阳能电池

4. 太阳能 LED 路灯方案

1）30W LED 路灯配置方案　在这里以 30W LED 路灯为例。30W LED 路灯的配置方案如表 7-11 所示。LED 灯单路工作，功率为 30W，DC 24V 供电。当地日均有效光照以 3.5h 计算，每日放电时间 10h（以晚 7 点至晨 5 点为例），满足连续阴雨天 6 天（加阴雨天前一夜的用电，共计 7 天）。在实际工作中可以根据需要来修改太阳能 LED 路灯的放电时间。

表 7-11　30W 太阳能 LED 路灯的配置方案

序　号	项　目		规　格	数　量	备　注
1	光伏发光系统	太阳能组件	90W/18V	2	
		太阳能控制器	10A/24V	1	
		防水蓄电池	12V/200A·h	2	
2	光源系统	LED 路灯	30W	1 套	集成光源、恒流源
		太阳板与控制器连接电缆	RVV2×2.5	10m	
		蓄电池与控制器连接电缆	RVV2×2.5	2.5m	
		控制器与光源连接电缆	RVV2×1.5	8m	
3	灯杆系统	灯杆	8m	一支	
		灯臂		一支	
		太阳能支架		一套	
4	路灯系统附件	地脚笼		一套	

2）50W 太阳能 LED 路灯配置方案计算

☺ LED 路灯功率为 50W，DC 24V 供电系统。

☺ 当地日均有效光照以 4h 计算。

☺ 每日放电时间 10h，通过控制器来进行控制。分时段调节 LED 灯功率的大小，降低总功耗，实际按每日放电 7h 计算（晚 7 点至 11 点为全功率（100%），11 点至凌晨 5 点为半功率（50%），合计：7h）。

☺ 满足连续阴雨天 5 天（加阴雨天前一夜的用电，共计 6 天）。

蓄电池容量计算如下：

$$电流\ I = 50W \div 24V = 2.08\ A$$

$$蓄电池容量\ C = 2.08A \times 7h \times （5+1） = 2.08A \times 42h = 88A \cdot h$$



蓄电池充、放电预留 20%容量；太阳能 LED 路灯的实际电流在 2A 以上（加 20%损耗，包括恒流源、线损等）。

$$实际蓄电池容量\ C_{实} = 88A \cdot h \div 80\% \times 120\% = 132A \cdot h$$

实际蓄电池为 24V /132A・h，需要两组 12V 蓄电池共计：264A・h。

太阳能电池板功率计算如下：

☺ LED 路灯功率为 50W，电流为 2.08A。

☺ 每天放电时间为 10h，实行功率调节后，放电时间实际按 7h 计算。

☺ 太阳板预留最少 20%。

☺ 当地有效光照以日均 4h 计算。

$$W_P \div 17.4V = （2.08A \times 7h \times 120%） \div 4h$$

$$W_P = 76W$$



在计算太阳能电池板功率时，还要结合综合损耗（恒流源损耗、线损等损耗），为20%左右。

太阳能电池板实际需求功率 $W_{P实} = 76W \times 120\% = 91W$。

实际太阳能电池板需 24V /91W，所以需要两块 12V 太阳能电池板共计：182W。

3）50W LED 路灯的配置方案 50W LED 路灯的配置方案如表 7-12 所示。

表 7-12 50W LED 路灯的配置方案

序号	项目		规格	数量	备注
1	光伏发光系统	太阳能组件	100W/18V	2	
		太阳能控制器	10A/24V	1	
		防水蓄电池	12V/150A·h	2	

续表

序号	项　目		规　格	数　量	备　注
2	光源系统	LED 路灯	50W	1 套	集成光源、恒流源
		太阳板与控制器连接电缆	RVV2×2.5	10m	
		蓄电池与控制器连接电缆	RVV2×2.5	2.5m	
		控制器与光源连接电缆	RVV2×1.5	8m	
3	灯杆系统	灯杆	8m	一支	
		灯臂		一支	
		太阳能支架		一套	
4	路灯系统附件	地脚笼		一套	

4）60W LED 路灯的配置方案　60W LED 路灯的配置方案如表 7-13 所示。LED 灯单路工作，功率为 60W，DC 24V 供电。当地日均有效光照以 3.5h 计算，每日放电时间 10h（以晚 7 点至晨 5 点为例），满足连续阴雨天 3 天（加阴雨天前一夜的用电，共计 4 天）。在实际工作中可以根据需要来修改太阳能 LED 路灯的放电时间。

表 7-13　60W LED 路灯的配置方案

序号	项　目		规　格	数　量	备　注
1	光伏发光系统	太阳能组件	160W/35.2V	2	
		太阳能控制器	20A/24V	1	
		防水蓄电池	12V/250AH	2	
2	光源系统	LED 路灯	60W	1 套	集成光源、恒流源
		太阳板与控制器连接电缆	RVV2×2.5	10m	
		蓄电池与控制器连接电缆	RVV2×2.5	2.5m	
		控制器与光源连接电缆	RVV2×1.5	8m	
3	灯杆系统	灯杆	8m	一支	
		灯臂		一支	
		太阳能支架		一套	
4	路灯系统附件	地脚笼		一套	

7.4　LED 投光灯的设计与组装

1．LED 投光灯

LED 投光灯是使指定被照面上的照度高于周围环境的灯具，又称聚光灯。通常 LED 投光灯能够瞄准任何方向，并具备不受气候条件影响的结构。它主要用于大面积作业场

矿、建筑物轮廓、体育场、立交桥、纪念碑、公园和花坛等。LED 投光灯的外形如图 7-24 所示。

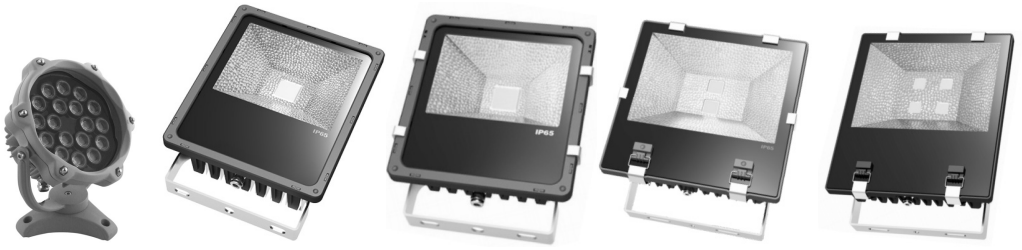


图 7-24　LED 投光灯的外形



☺ 执行 GB 7000.1—2015 《灯具第 1 部分　一般要求与试验》和 GB 7000.7—2005 《投光灯具安全要求》。

☺ LED 投光灯亮灯后，灯具内部有水蒸气或雾气产生，通常采用加 LED 呼吸器解决。

☺ LED 灯具到电源的电气连接件要有足够的机械强度。一般二类灯具电源线的截面积不小于 0.75mm^2，一类灯具电源线的截面积不小于 1.0mm^2。

2．LED 投光灯的组装注意事项

☺ LED 投光灯的喷涂表面不允许有明显的毛刺、批锋、脏污，变形、气泡、堆积、划痕、针孔、杂质等不良现象。支架不允许有明显的毛刺、刮花、杂质、喷漆不良等现象。玻璃件表面无缺边、刮花等不良现象。

☺ LED 投光灯螺丝表面无打滑牙、未打到位、生锈、氧化、尺寸不一致等不良现象。

☺ LED 投光灯标签贴在灯体位置、方向一致，不应出现翘角、起皱、缺角、偏歪等不良现象。

☺ LED 投光灯的外露螺丝件等，盐雾测试需达到 48h 以上，不得漏底及有无法擦拭的锈蚀。

☺ LED 投光灯带电部件与外壳金属部件之间施加 AC 1500V、10mA 试验 60s，不允许出现闪络或击穿现象。

☺ LED 投光灯在温度 20~30℃、湿度 91%~95%RH 环境下放置 48h 后，立即进行试验，导体和外壳之间施加 DC 500V，时间为 1min，其绝缘电阻应大于 2MΩ。

3．LED 投光灯的组装流程

LED 投光灯的组装流程如图 7-25 所示。

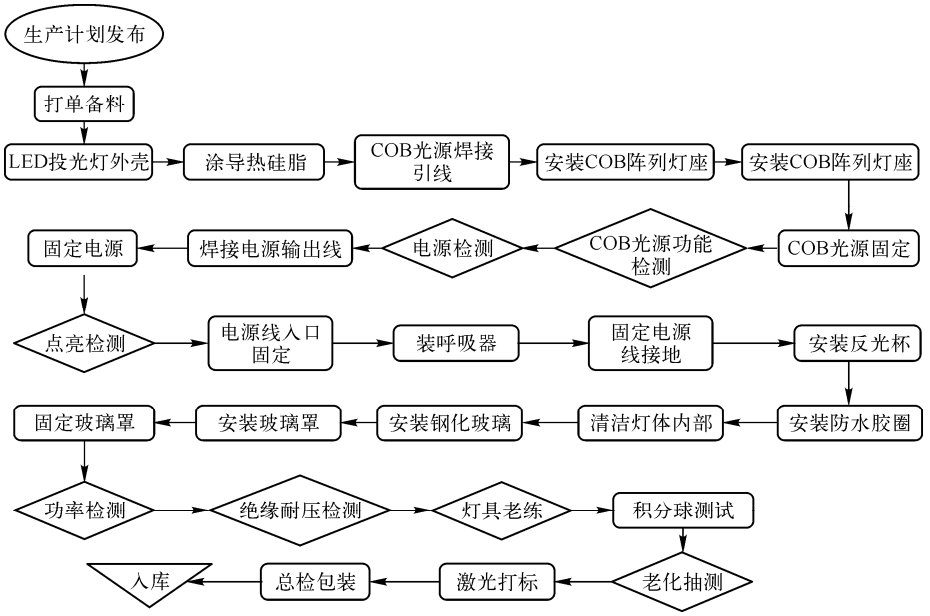


图 7-25　LED 投光灯的组装流程

7.5　LED 隧道灯的设计与组装

1．LED 隧道灯

LED 隧道灯是隧道灯的一种，主要应用于隧道、车间、大型仓库、场馆、冶金及各类厂区、工程施工等场所大面积泛光照明，最适用于城市景观、广告牌、建筑物立面做美化照明。LED 隧道灯的外形如图 7-26 所示。



图 7-26　LED 隧道灯的外形

LED 隧道灯智能控制系统由软件和硬件及通信系统构成，包括监控调度中心、无线通信网络、电力载波技术、集中控制器、单灯控制器。通过实时的遥控、遥测、遥信、遥调对隧道灯进行有效的管理和维护。

2．LED 隧道灯的组装流程

LED 隧道灯的组装流程如图 7-27 所示。

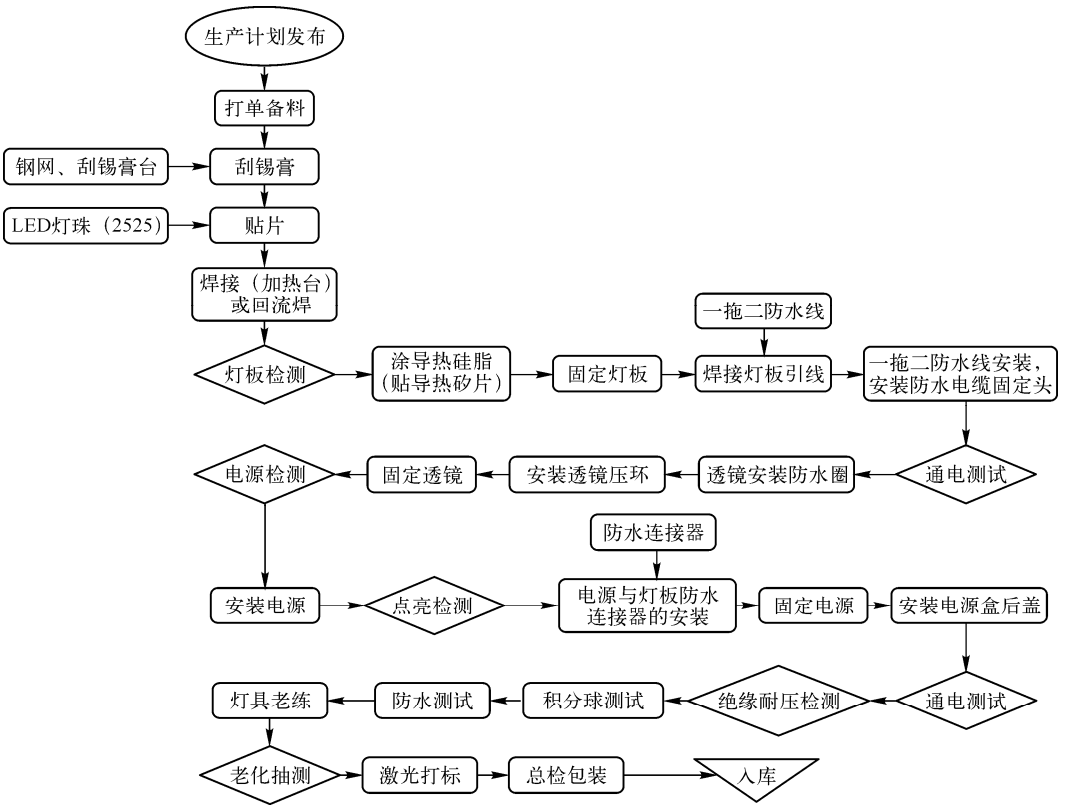


图 7-27　LED 隧道灯的组装流程



☺ LED 隧道灯表面清洁，无破损、裂纹和变形；表面涂层均匀，无刮花、脱落，无明显色差。

☺ LED 隧道灯外露电缆线承受 60N 拉力，拉时不能猛拉，每次历时 1s，要求 25 次/min，电源线位移不超过 2mm。

☺ LED 隧道灯外露电缆线火线为棕色导线，零线为蓝色导线；黄绿色线为接地导线。

☺ LED 隧道灯能通过 IP65 防水喷淋测试。

7.6　LED 室外照明灯具简介

1．LED 壁灯

LED 壁灯外壳采用高级氧化喷涂铝型材和整体模压加工工艺，钢化玻璃面盖，灯具内部有优质铝材散热器，确保了良好的散热效果，有效地减少了 LED 使用过程中的光衰。户外 LED 上下照壁灯主要用于户外景观照明、墙柱、廊柱、酒店外墙等照明场所。户外 LED

上下照壁灯的外形如图 7-28 所示。采用滚边等新工艺，确保外壳整体性好，密封可靠，防水防尘达 IP65。



图 7-28　户外 LED 上下照壁灯的外形

2．LED 水底灯

LED 水底灯就是装在水底下的灯，因安装在水底下面，需要承受一定的压力，采用不锈钢材料、8～10mm 钢化玻璃、优质防水接头、硅橡胶密封圈、弧形多角度折射强化玻璃，防水、防尘、防漏电、耐腐蚀。LED 水底灯的外形如图 7-29 所示。LED 水底灯配合 DMX512 控制系统能达到多种颜色变化效果。LED 水底灯规格一般为ϕ80～160mm，高度为 90～190mm。LED 水底灯工作电压必须严格控制在人体安全电压以下，如 AC/DC 12V、24V 等。材料一般为不锈外钢面板，具有防腐蚀、抗冲击力强的优点，可长期浸没水底工作，防护等级高达 IP68；采用低压直流电源供电，安全可靠。



图 7-29　LED 水底灯的外形



☺ LED 水底灯功率有 1W、3W、4W、6W、9W、12W、15W、18W、36W 等，颜色有红、绿、蓝、黄、紫、白、暖白光、七彩，也可用渐变（内控或外控）、DMX512 控制，可实现刷墙、流水、追逐、扫描效果。

☺ LED 水底灯采用全不锈钢面板、铝灯体、钢化玻璃不锈钢支架，确保散热好、防水性能高，IP68 防水。

☺ 国标明确规定，对游泳池、喷水池、嬉水池等类似场所的水下照明灯具，应为防触电保护 III 类灯具。其外部和内部线路的工作电压应不超过 24V。

3．LED 庭院灯

LED 庭院灯是户外照明灯具的一种，通常是指 6m 以下的户外道路照明灯具，其主要部

件由 LED 光源、灯具、灯杆、法兰盘、基础预埋件 5 部分组成。LED 庭院灯主要应用于城市慢车道、窄车道、居民小区、旅游景区、公园、广场等公共场所的室外照明，能够延长人们的户外活动时间。LED 庭院灯的外形如图 7-30 所示。安装 LED 庭院灯前，需要根据厂家提供的标准法兰盘尺寸，使用常规 M16 或 M20 螺杆焊接成基础笼，然后在安装地点挖掘合适尺寸的坑洞，把基础笼放置其中，水平矫正后，使用水泥混凝土浇灌以固定基础笼，3～7 日后水泥混凝土充分凝固，即可安装庭院灯。



图 7-30　LED 庭院灯的外形



☺ LED 光源系统主要由散热、配光、LED 模组组成。

☺ LED 庭院灯灯杆主要材质有等径钢管、异型钢管、等径铝管、铸铝灯杆、铝合金。

☺ LED 庭院灯灯杆常用的直径有 ϕ60mm、ϕ76mm、ϕ89mm、ϕ100mm、ϕ114mm、ϕ140mm、ϕ165mm。

☺ LED 庭院灯灯杆根据高度和所用场所的不同，所选材料厚度分为壁厚 2.5mm、3.0mm、3.5mm。

☺ 法兰盘是 LED 庭院灯灯杆与地面安装的重要构件。

LED 照明设计与应用（第3版）

第8章

LED 景观照明灯具的设计与组装

8.1 景观照明的术语

（1）景观。

☺ 一般概念：泛指地域或城市的自然景观和人文景观。

☺ 特定区域概念：专指自然地理区划中的区域景观。

☺ 类型概念：指相互隔离地段，按其外部特征的相似性，归为同一类型的景观，如建筑景观、园林景观、草原景观、江河景观和森林景观等。

（2）自然景观。只受到人类间接、轻微或偶尔影响，自然面貌未发生明显变化的天然景观，如高山、极地、热带雨林及某些自然保护区等。

（3）人文景观，又称文化景观。由人类活动所造成的景观，是自然风光、田野、建筑、村落、厂矿、城市、交通工具和道路，以及人物和服饰等构成的人文现象的复合体。

（4）夜间景观（简称夜景）。在夜晚，通过黄道光、月光、星光和灯光重现白天的自然或人文景观。

（5）夜景照明。泛指除体育场、工地和室外安全照明外，所有室外活动空间或景物的夜间景观照明。照明的对象有建筑或构筑物、广场、道路和桥梁、机场、车站和码头、名胜古迹、园林绿地、江河水面、商业街和广告标志及城市市政设施等的景观照明，其目的就是利用灯光将上述照明对象的景观加以重塑，并有机地组合成一个和谐、优美、壮观和富有特色的夜景图画，以此来表现一个城市或地区的夜间形象。



国际照明委员会（CIE）称夜景照明为“夜间室外城市景观装饰照明”。

（6）观景点。具有最佳位置和视角的观景地点。

（7）观景距离。人们凭视力观景的距离，也称观赏景物所需一定的空间距离。实验研究表明，人的双目及视野在 60° 角的圆锥体范围内，视距为景物高度 1～3 倍观赏时，效果较佳，小于它时有迫促感，大于它时有远离感。

（8）近景。靠近观景点所看到的景物，或按人的尺度，在人的视野中所看到的景物，如建筑立面的局部（细部）景观。

（9）中景。离观景点较远的位置所看到的景物，或按“街道”的尺度，在较大视野内观赏的景物，如建筑或构筑物的全景。

（10）远景。远距离观景点所看到的景物，或按城市的尺度，在大视野内观赏到的景物及其周围的环境。

（11）静态观景。在某一特定观赏点静观各种景物的夜景效果。

（12）动态观景。观赏者在运动中近赏、远眺、仰望、俯瞰，从而获得步移景异地观赏景物的夜景效果。

（13）景观意境。人们触景生情、联想到某种深化景界（意）的内涵，把景物印象融入思想感情而形成的一种景观艺术境界。

（14）硬质景观。相对于软质景观而言，满足复杂的城市生活要求，适应众多人群使用的景观设施，如建筑、街道、道路、桥梁、广场和城市市政景观设施等。可作为硬质景观的材料很多，如混凝土、砖石、金属和玻璃等。在设计硬质景观时应充分发挥材料的肌理和质感特性。

（15）软质景观、植被景观。相对硬质景观而言，在一定地区内，由覆盖地面的植被及树林形成的景观。绿地、树木和花丛等均属于软质景观的范围。

（16）营造景观。按庆典活动或特定的主题要求，在人群集中的广场或地点，利用灯光营造出各种寓意和造型的灯饰景观。

（17）剪影。景物在其背景上形成轮廓清晰的影像。

（18）夜景效果图案。能真实、准确地表达夜景照明设计方案，并有一定艺术表现力的夜景图。

（19）夜景天际线。以天空为背景，通过城市的建筑和构筑物，以及山体、江河水面的夜景灯光表现城市高低起伏韵律，描述整个城市全貌和特征的夜间景观边界线（或称轮廓线）。



8.2 LED 景观照明

1．景观与 LED 光源

景观可以是自然景色，也可以是人工创造的。景观照明是既有照明功能，又兼有艺术装饰和美化环境功能的一种照明工程。景观照明需要鉴赏和品味，艺术则需要深度的直觉感悟。景观照明艺术必须透过光和照明，采用多样照明手法，才能产生生命力。

照明可以改变环境的外观，艺术性的照明灯光和色彩，构成动态和静态的光、声、色的景观，更显示出景观庭园灯具的小品化、雕塑化、时装化。在设计过程中，要兼顾其中关键节点，如小景、建筑等个体，进行重点照明设计。

随着人们思想意识、生活方式的不断改变，灯具、光源、材料、风格与设计方式都发生了很大的变化。在选择适宜光源时，除了经济因素外还要从整个光环境效果及材料的质感、可靠性方面考虑，注重自然环境与照明的统一性。

2．LED 的光环境

为了提高可视性和观赏性，LED 已越来越多地应用到景观照明中，比如建筑物中的泛光灯和勾勒轮廓的立面照明，城市广场、园林、步行街道的照明，都是采用超高亮度的 LED，其优异的节能特点和极长的使用寿命备受灯光设计师和业主们的青睐。光环境会对人的精神状态和心理感受产生积极的影响，在设计或选择光源时要考虑到光污染，同时结合控光、滤光、调光、混光、封光方式，达到相应的光环境。

3．色调

LED 有着柔和的光色，在广场和园林照明中有较强的艺术效果，它不仅为人们提供舒

适的视觉条件，更需要通过各类光色的协调，体现景观照明风格，增加艺术美感，达到设计意图所刻意创造的空间景观，满足人的视觉需求、审美需求和心理需求。

夜景反映的颜色会对人产生不同的视觉感受，表现出不同的色调、艺术欣赏和文化层次。红色是暖色调，令人联想到太阳、红旗、火，使人感受到热情、温暖、热烈；黄色属偏暖色调，给人高贵、光明、欢快的感受；绿色是森林的主调，富有生机，它使人想到青山绿水、春光明媚、生气勃勃，象征青春、和平、健康；蓝色是一种极其冷静的色彩，形成幽雅、宁静的气氛，使人联想到碧蓝的海洋、蔚蓝的天空；白色是冷色调，它常使人想到冰雪，想到寒冷，给人以优雅、纯真、平和的感受。

8.3 LED 模组的设计

LED 模组实际上是将 LED（发光二极管）按一定规则排列在 PCB 上，然后用环氧树脂胶灌封，进行防水处理的 LED 产品。由于 LED 模组产品比较多，应用又广，所以市面上的 LED 模组在结构及电子方面有很大的差异。最简单的 LED 模组就是将焊接好 LED 的线路板和外壳进行组装；复杂一点的 LED 模组，要对其进行一些简单的控制或者对 LED 模组进行恒流，同时对 LED 模组进行相关的散热处理，使 LED 模组寿命加长、发光强度达到最大。LED 模组的外形如图 8-1 所示。这里所说的 LED 模组都是指 LED 贴片模组。

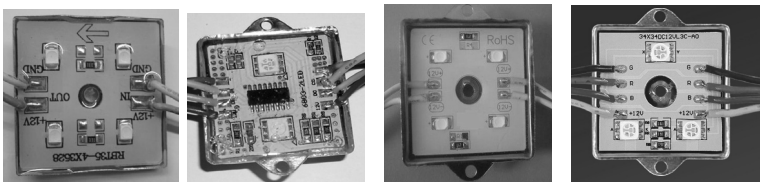


图 8-1　LED 模组的外形（环氧树脂胶灌封）



目前 LED 模组主要以 SMD3528、SMD2835、SMD5630、SMD5730、SMD5050 封装的 LED 为主。LED 模组用于制作立体发光字、广告灯箱、招牌、标示及装饰，也可以作为光源使用。

1．LED 模组的设计

LED 模组分为两种，一种主要以灌封防水，即以环氧树脂胶灌封；另一种以注塑为主，其外形如图 8-2 所示。



☺ 注胶是用压力将熔化的高效热熔胶注入模具并快速固化成型的封装工艺，可以达到绝缘、防潮、防水等功效。

☺ LED 防水注塑模组适用于 8 ~ 15cm 厚度的背发光的发光字和灯箱，采用铝基板作

为 LED 灯珠（SMD2835）和恒流器件的载体。采用 LED 专用恒压供电方式，电路采用恒流回路设计，保持整串亮度一致。

☺ LED 防水注塑模组采用二次扩光光学设计，发光视角达 165°，无光斑，色均匀度好；防潮、防水、防尘、抗冲击，防护等级达 IP65。

☺ LED 注塑模组采用 DC 12V 恒压供电，单颗 LED 注塑模组可裁剪，不影响使用，最大级联为 30PCS。

☺ LED 注塑模组采用透镜隔离措施，保证了比较大的发光角度，同时也隔离了外界。

☺ LED 注塑模组的正负极与电源的正负极相对应，即模组的正极接电源的正极，模组的负极接电源的负极。

☺ LED 注塑模组贴在 LED 发光字内牢固可靠，必要时用螺钉固定。

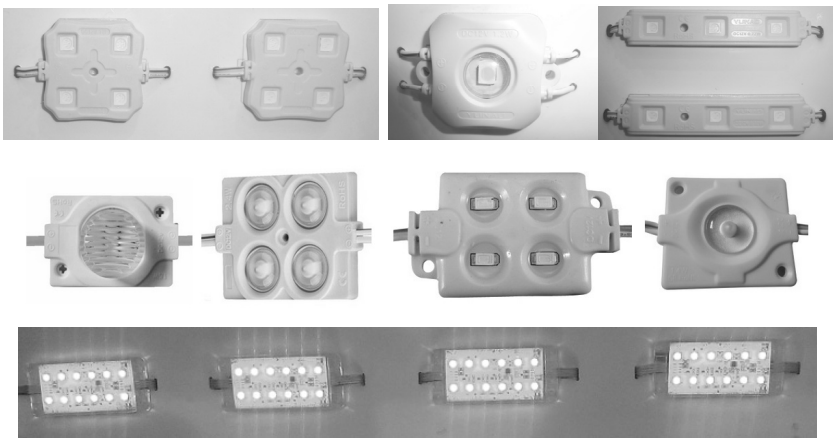


图 8-2　注塑 LED 模组

1）LED 模组的参数

（1）工作电压。目前市面上的 LED 模组都是低压模组，其工作电压为 DC 12V 或 DC 24V。



☺ 如果要对 LED 模组进行调光控制，一定注意开关电源标称输出电压及控制器标称工作电压是否与 LED 模组的电压一致。一定要用万用表测量开关电源输出电压是否与 LED 模组工作电压一样，这样才能安装，并按照施工图纸仔细检查之后才能通电，防止损坏 LED 模组。

☺ LED 模组调光控制时，同时也要考虑到控制器标称输出功率，如输出功率不足，也要采用中继器或放大器进行功率放大。

☺ 恒压可控硅调光驱动电源（开关电源）可以对 LED 模组进行调光控制，具有输出短路、过载、过热保护功能。

（2）工作电流。一般情况下是指单个 LED 模组的工作电流，也是设计电流，电流参数可以参照模组规格书，若不清楚也可以利用数字万用表进行测量。

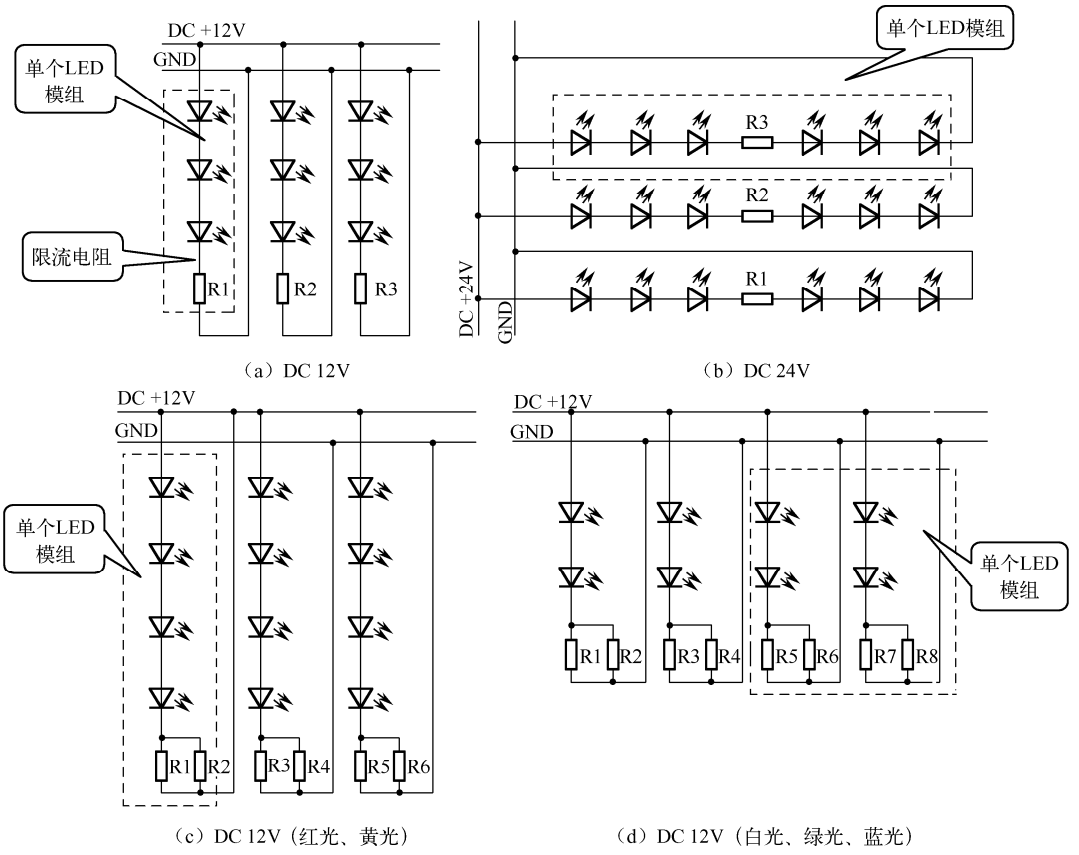
（3）光通量。单个 LED 模组发光时的发光效率，可以通过积分球进行测量。

（4）额定功率。单个 LED 模组工作电压与工作电流之积。



在实际设计过程中还要根据设计要求，参照 LED 的规格书进行设计，即 LED 模组有一些参数就是单个 LED 的参数。

2）LED 模组电路设计 用 SMD3528、SMD2835、SMD5630、SMD5730 封装设计的 LED 模组电路原理图，工作电压为 DC 12V 或 DC 24V，如图 8-3 所示。



注：图中限流电阻阻值与功率都是一样的，目前大部分限流电阻封装为 1206。

图 8-3 LED 模组电路原理图（一）

限流电阻的作用是控制流过 LED 光源的电流大小，限流电阻阻值大一点效果较好。但也不能将限流电阻的阻值取得太大，否则会增大损耗及使限流电阻发热严重，因为 LED 模组都是并联使用的。有了限流电阻存在，会使工作电压更加平滑，各并联支路 LED 模组的亮度也会更加均匀。

限流电阻计算公式为

$$R=(U-nV_F)/I_F \qquad (8\text{-}1)$$

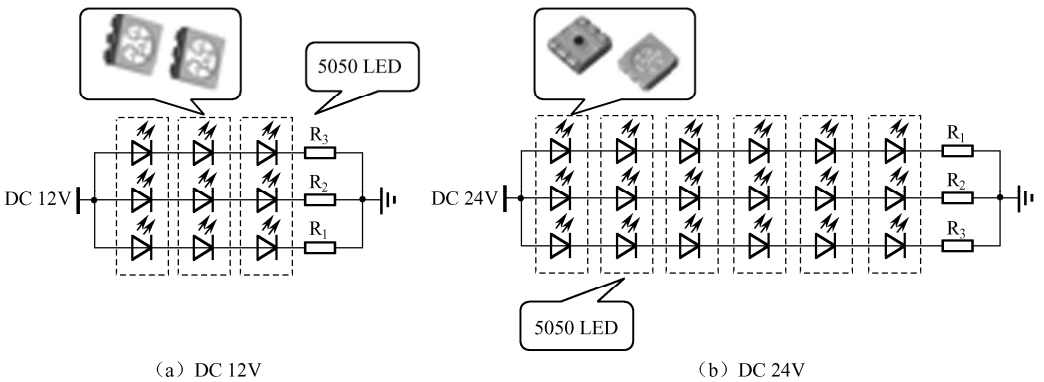
式中，R 为限流的阻值；U 为 LED 模组的工作电压；V_F 为单个 LED 光源的正向压降，也就是 LED 的正向电压；n 为 LED 的数量（串联的个数）；I_F 为 LED 光源的正向电流。V_F、I_F 参数可以参照 LED 光源的规格书。



（1）LED 模组的限流电阻的功率 $P_{阻}=I^2_{LED\ 模组电流}\times R$。在 LED 模组中限流电阻的功率要大于计算出的功率，这样才能确保 LED 模组安全工作。

（2）LED 模组的功率可以进行估算，估算公式为：$1.1\times nP$（P 为单个 LED 的功率，n 为 LED 数量）。

用 5050 封装设计的 LED 模组电路原理图，工作电压为 DC 12V 或 DC 24V，如图 8-4 所示。



（a）DC 12V　　（b）DC 24V

图 8-4　LED 模组电路原理图（二）



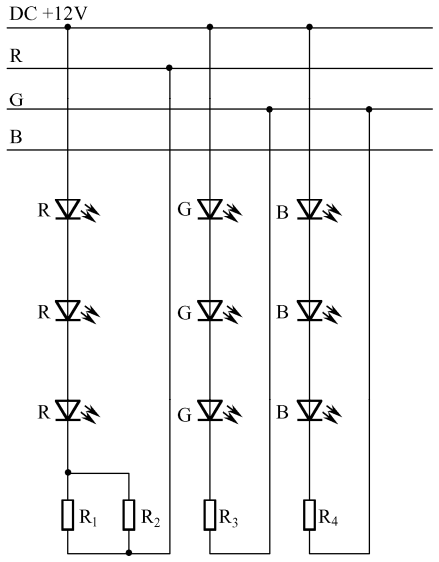
LED 模组可以由两个 SMD5050 LED 构成一组，也可以由 4 个 SMD5050 LED 构成两组，其工作电压为 DC 12V。

3）七彩 LED 模组　七彩 LED 模组由红、绿、蓝 3 种颜色组成，由 SMD3528、SMD3535、SMD5050 LED 组成，电路分为共阴极与共阳极两种。七彩 LED 模组电路原理图如图 8-5 所示，由 DC 12V 或 DC 24V 开关供电与 RGB 控制器组成。

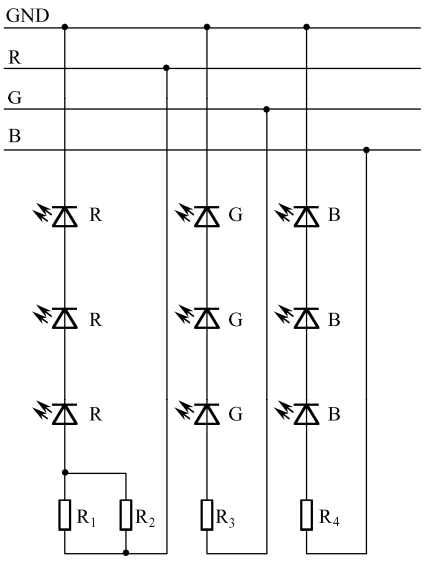


☺ SMD5050 相当于 3 个 SMD3528，也就是七彩 LED 模组用 SMD3528 要 9 个，用 SMD5050 只要 3 个。

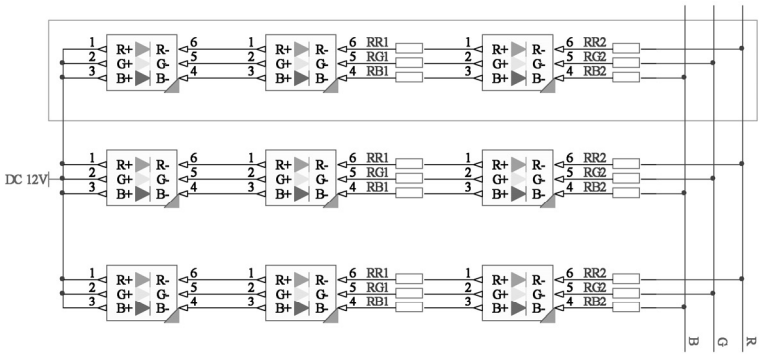
☺ SMD5050RGBW 就是在 SMD5050RGB 基础上，增加了一个白光（W）。



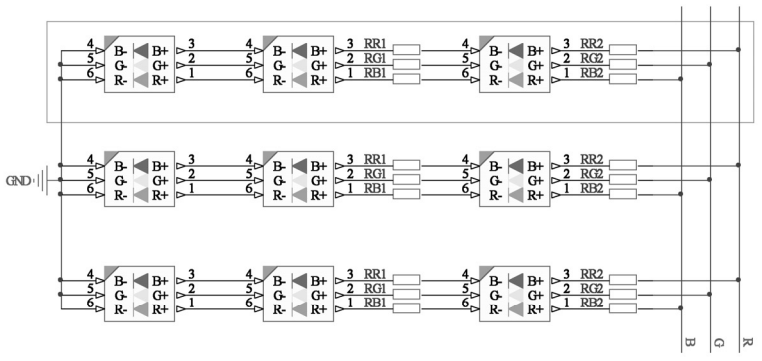
（a）共阳极（SMD3528、2835、5730，DC 12V）



（b）共阴极（SMD3528、2835、5730，DC 12V）

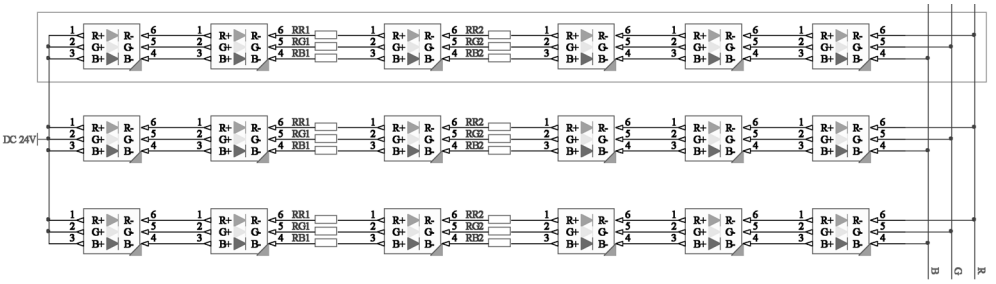


（c）共阳极（SMD3535、5050，DC 12V）

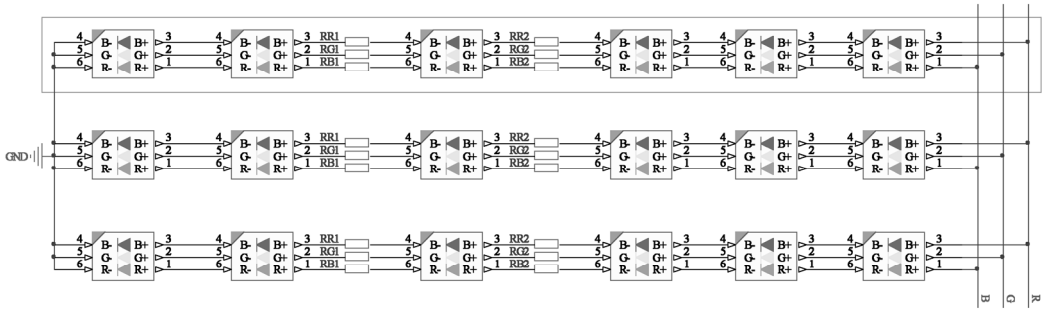


（d）共阴极（SMD3535、5050，DC 12V）

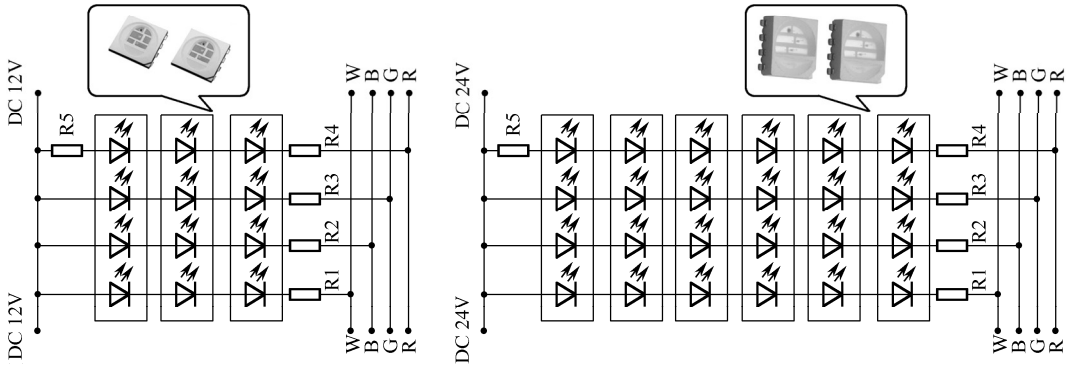
图 8-5　七彩 LED 模组电路原理图



（e）共阳极（SMD3535、5050，DC 24V）



（f）共阴极（SMD3535、5050，DC 24V）



（g）共阳极（5050RGBW）

图 8-5　七彩 LED 模组电路原理图（续）

七彩 LED 模组采用超高亮 SMD5050 LED 做光源，红、绿、蓝 3 种颜色的限流电阻阻值可以根据式（8-1）计算，在计算过程中，可以参照红、绿、蓝 3 种 LED 在规格书中的工作电流。一般情况下，红、绿的工作电流是相同的，蓝色的工作电流是红、绿工作电流的 0.6 倍。



七彩三灯注塑模组选用 SMD5050 LED，采用注塑工艺，工作电压 DC 12V 输入，使用安全可靠，防水等级可达 IP65。

LED 点控模组又名 LED 全彩模组，主要应用于发光字、广告灯箱、门店招牌、KTV、酒店、玩具装饰、汽车装饰。LED 点控模组通过 IC 进行控制，有 LPD6803 点控模组、WS2801 点控模组、TM1804 点控模组、UCS512A2 点控模组等。

4）LED 模组的安装　LED 模组的安装步骤如下：

（1）计算 LED 模组数量。在安装之前，根据安装位置的大小，在计算机上模拟出 LED 模组的排列分布，初步估算 LED 模组数量。根据以往的经验，模组间距在 3～10cm 之间，发光间距在 5～15cm 之间。

（2）配置开关电源。根据 LED 模组数量，计算出所有安装 LED 模组的总功率，根据 LED 模组的总功率，计算出电源功率大小，从而配置合适的开关电源。



开关电源选配要留有余量，只能按开关电源额定功率的 80%使用。根据不同使用环境，选配普通开关电源或防水开关电源。

（3）安装 LED 模组。在安装 LED 模组前，要对安装表面进行清洁，确保安装表面干净。在 LED 模组背面贴双面胶进行初步固定。

（4）开关电源、控制器连接。所有模组贴装完毕后，根据安装图纸对 LED 模组进行连接，是直接连通开关电源还是进行控制，要根据设计要求而定。按照安装图纸连通所有连线。采用 0.75mm^2 国标线或美规 18AWG 电子线，接通电源。



☺ 开关电源与 LED 模组的距离应在 5m 之内。在实际安装过程中还可以考虑输出电流的大小，选择合适线径的优质铜芯线。在对连接线、电源引线进行连接时，一定在接口处用电工胶布包扎好，防止短路或者接触不良。

☺ LED 可控硅恒压调光电源，输出电压有 DC 12V、24V、36V、48V，功率最大可以达到 360W，配合可控硅调光器可以实现调光，适用于 LED 模组、LED 灯条、LED 灯带调光。

（5）测试 LED 模组。通电之后，应检查 LED 模组工作是否正常。如有控制器，要对控制器进行测试，测试其功能是否正常。如有问题要进行相应的更换。

（6）固定模组、连接线、电源线。用玻璃胶或其他类型胶固定 LED 模组，并将 LED 模组连接线、电源供电线一同固定。

5）LED 安装注意事项

☺ 根据 LED 模组工作电压，选配相同输出电压的开关电源，在使用过程中做好开关电源防水措施。

☺ LED 模组为低电压产品（DC 12V 或 DC 24V），不能直接使用交流 220V 电压，必须采用开关电源。开关电源输出端引线到 LED 模组的距离越短越好。

☺ LED 模组有正负极之分，安装时注意 LED 模组正负极分别与开关电源的正负板相对应。

☺ LED 模组初装时，采用双面胶粘贴 LED 模组卡槽与安装底板。

☺ LED 模组安装时，使 LED 模组串联组数尽量少些，防止因电压下降影响 LED 模组亮度。



LED 模组安装时，尽量多采用并联回路，从而保证电压和电流的分配合理。

☺ 不防水 LED 模组安装在室外时，一定考虑到雨水进入问题，要对安装的箱体进行防水处理。目前大多采用防水 LED 模组。

☺ 安装时可根据安装位置的大小，结合 LED 模组发光的均匀性和亮度等实际情况对 LED 模组的安装间距进行相应的调整。



LED 模组的安装数量在 50～100 组/m^2。

☺ 排列 LED 模组时，一定要注意 LED 模组发光的均匀性及亮度，防止出现光斑。

☺ LED 模组用作发光字时，建议 LED 模组与发光字字体边的距离为 2～5cm，LED 模组与 LED 模组之间的垂直、水平距离为 2～6cm。

☺ 在 LED 灯箱中使用 LED 模组时，要根据箱体的厚度来排列 LED 模组，这样才能保证 LED 模组发光的均匀性和亮度。

☺ LED 模组安装通电测试正常之后，两边必须打玻璃胶，防止 LED 模组脱落。

☺ LED 模组连接线、电源输出引线必须固定在 LED 模组安装的底板上并打上玻璃胶，防止对 LED 模组产生遮光的现象。



LED 模组末端不用的连接线，剪断后要用电工胶布包好以防短路，并用玻璃胶固定。

☺ LED 模组在安装和使用过程中要做好防静电措施。

☺ LED 模组不能接触到强酸、强碱等腐蚀性化学物品。

6）LED 模组的控制 七彩 LED 模组的控制器选用珠海雷特电子科技有限公司生产的 LT-3800-6A 多功能 LED RGB 控制器（216W 12V/432W 24V），这是一款 DIY 功能和组合能力强的 LED 控制器，用于控制四线三回路（共阳极）LED 灯的 RGB 颜色变化，共 12 种功能模式，可以实现任意切换跳变、渐变、频闪，采用轻触式功能按钮，配有 IR 无线遥控器，按控制器按键或者用遥控器都可以控制 LED 灯的功能变化，使用更方便。



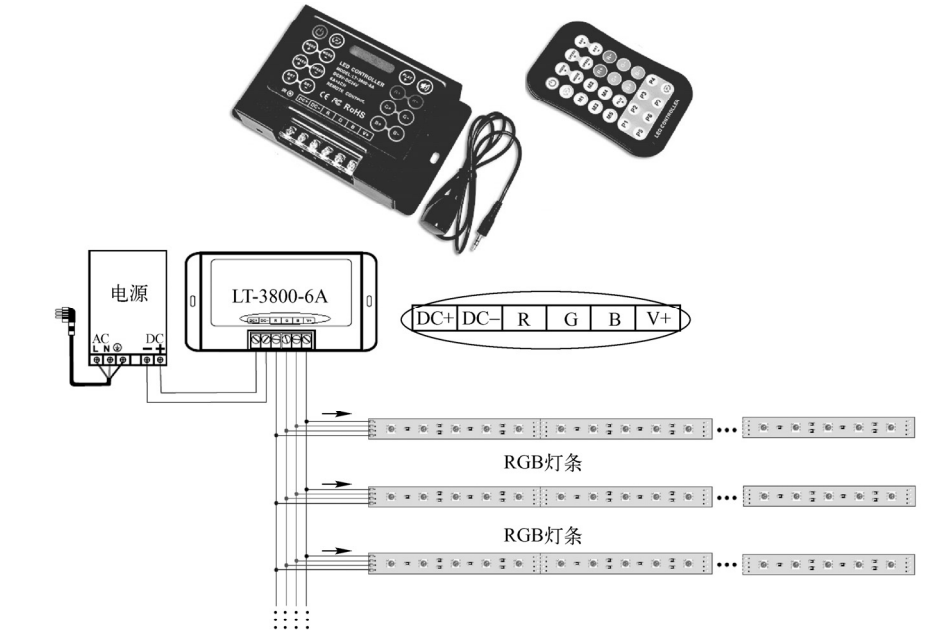
☺ 七彩 LED 模组的控制器生产商众多，原理大部分相同，设计者可以根据设计要求选择合适的控制器。

☺ WiFi-102 是一款在安卓、IOS 系统的手机、平板电脑等移动设备上安装的相关软件，通过移动设备自带的 WiFi 功能遥控 LED 照明产品的 LED 控制器。配套恒流、恒压两种分控无线同步控制，内置 32 种变化模式及 8 种 DIY 模式，尽显 RGB 三原色带来的无穷幻化。

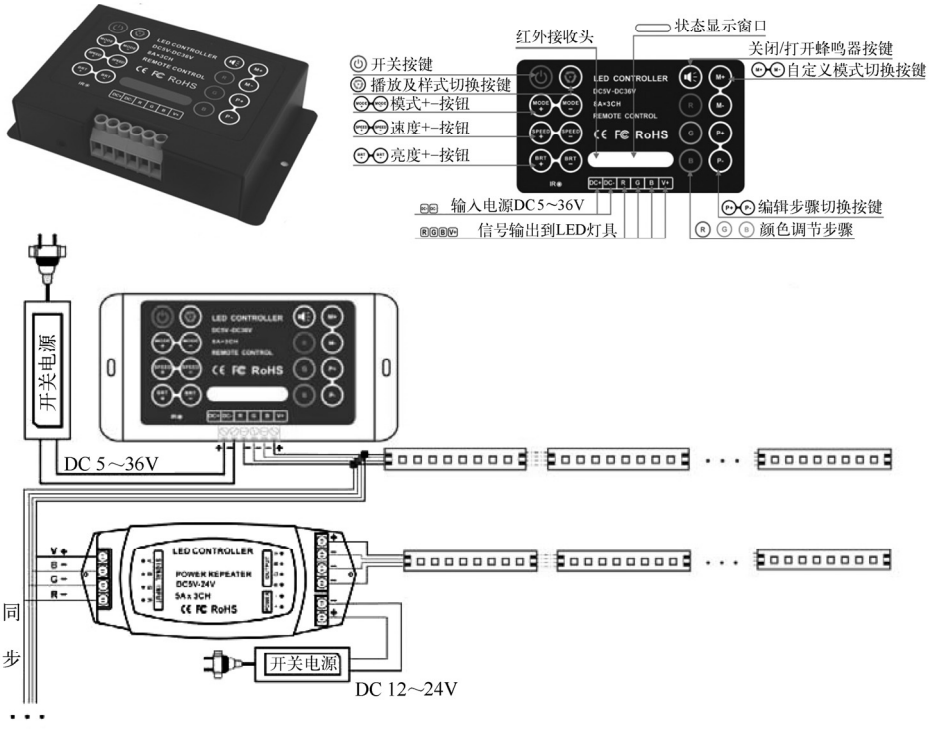
珠海缤彩电子科技有限公司生产的 BC-380-8A RGB 恒压 DIY 控制器，具有自动适应 DC 5～36V 工作电压范围内的 LED 灯具的功能。12 种内置模式，6 种自定义模式，各种模式可随意切换跳变、渐变、频闪，总共可组合成 54 种不同的变化模式。真正的 0%～100% 调光及 RGB 各 16 级静态亮度调节，可调配出 4096 种颜色，各种模式有 16 级速度调节。灰

度级别为 RGB 各 4096 级，调节灯光柔和、细腻。带输出短路、过流保护。

七彩 LED 模组的控制示意图（一）如图 8-6 所示。



（a）LT-3800-6A多功能LED RGB控制器控制示意图



（b）BC-380-8A RGB恒压DIY控制器控制示意图

图 8-6　七彩 LED 模组的控制示意图（一）

2.4G LED RGB 控制器由珠海雷特电子科技有限公司生产，型号为 T3-5A，T3 RF 2.4G 无线同步 RGB 控制器，控制器系统由 RF 遥控器与接收控制器两部分组成，在有效距离内可以支持无限数量接收器无线信号同步。RF 遥控器可实现远程控制开关、暂停、变化模式、变化速度、LED 亮度选择等功能；内置多达 32 种变化模式。七彩 LED 模组的控制示意图（二）如图 8-7 所示。

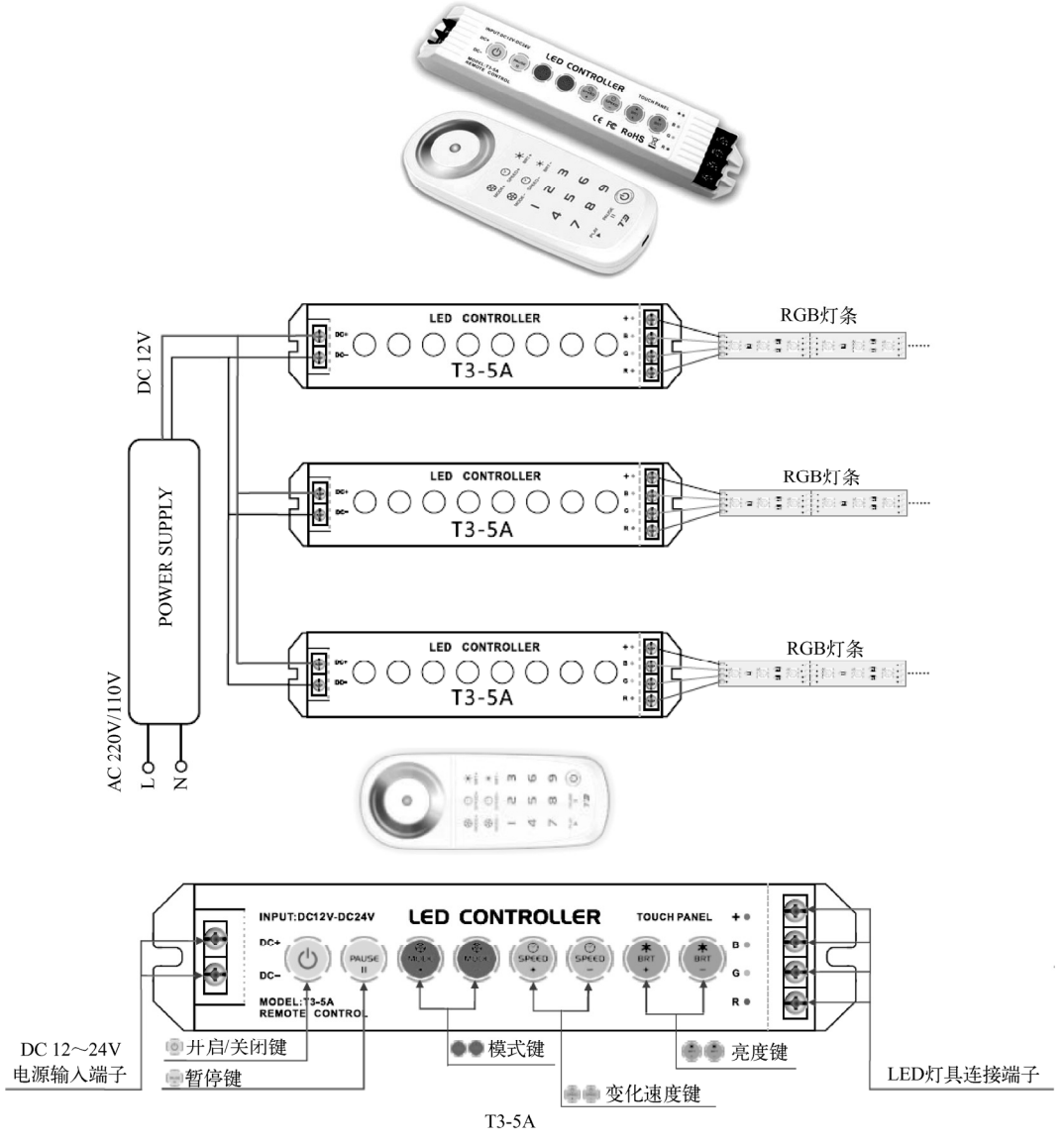


图 8-7　七彩 LED 模组的控制示意图（二）

单色 LED 模组的调光由珠海雷特电子科技有限公司生产的 LT-311RF 多功能 LED 调光控制器实现，LT-311RF 多功能 LED 控制器是一款通用型的调光控制器，采用先进的 PWM（脉宽调制）数字化亮度调节技术；PC 工程塑料外壳，轻触式按钮操控，体积轻巧，美观大

方；带变化功能和亮度调节，自动适应 DC 5～24V 电压输入。单色 LED 模组的调光控制示意图如图 8-8 所示。

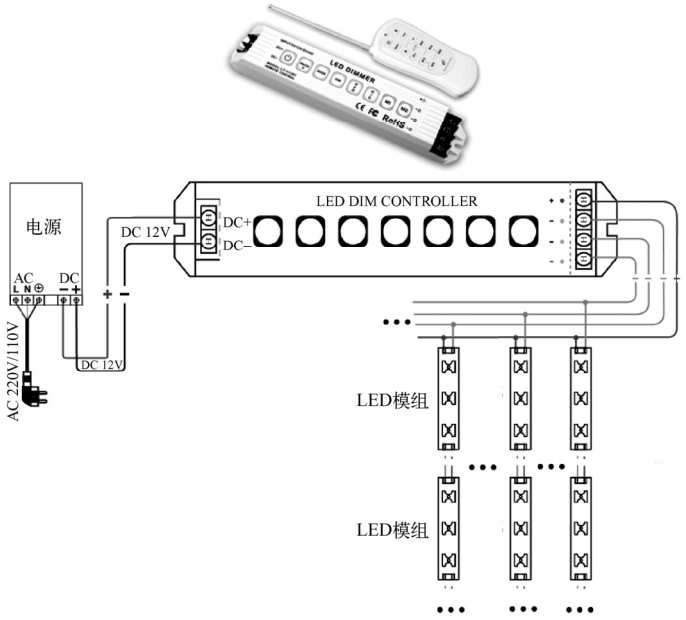


图 8-8　单色 LED 模组的调光控制示意图

在对 LED 模组进行调光时，如 LED 模组的功率在 432W 以下，就可以直接用恒压调光器（LT-311RF）进行调光；若功率超过 432W，可加功率扩展器，此处选用珠海雷特电子科技有限公司生产的 3 路恒压功率扩展器（LT-3060-8A）进行扩展（576W DC 24V）。

珠海缤彩电子科技有限公司生产的 BC-312-4A 恒压型 PWM 调光器，配合 BC-960-10A 单路功率放大器进行调光功率扩展。BC-312-4A 恒压型 PWM 调光器自动适应 DC 12～24V 的工作电压，单路输出 4A 电流。真正的 0%～100%亮度调节，4096 级灰度，符合人眼特性的特殊处理，灯光柔和、稳定、细腻，无频闪现象。

单色 LED 模组的调光功率扩展控制示意图如图 8-9 所示。

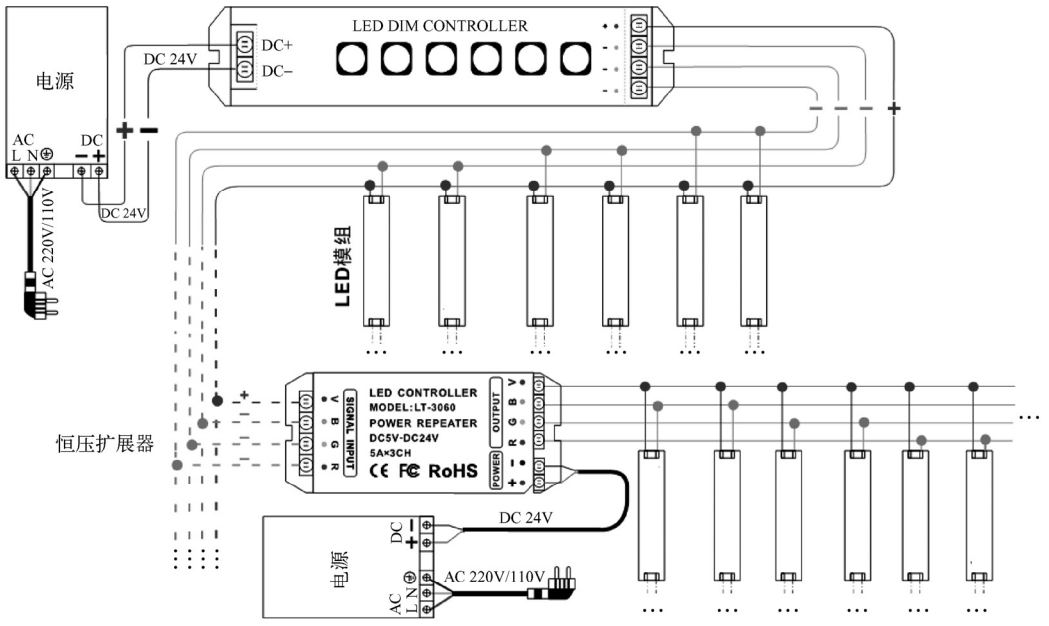


如果模组是 RGB 模组，必须将主控制器更换为 LT-3600 控制器，包括 LT-3600RF RGB 控制器与 LT-3600TC RGB 控制器两种。

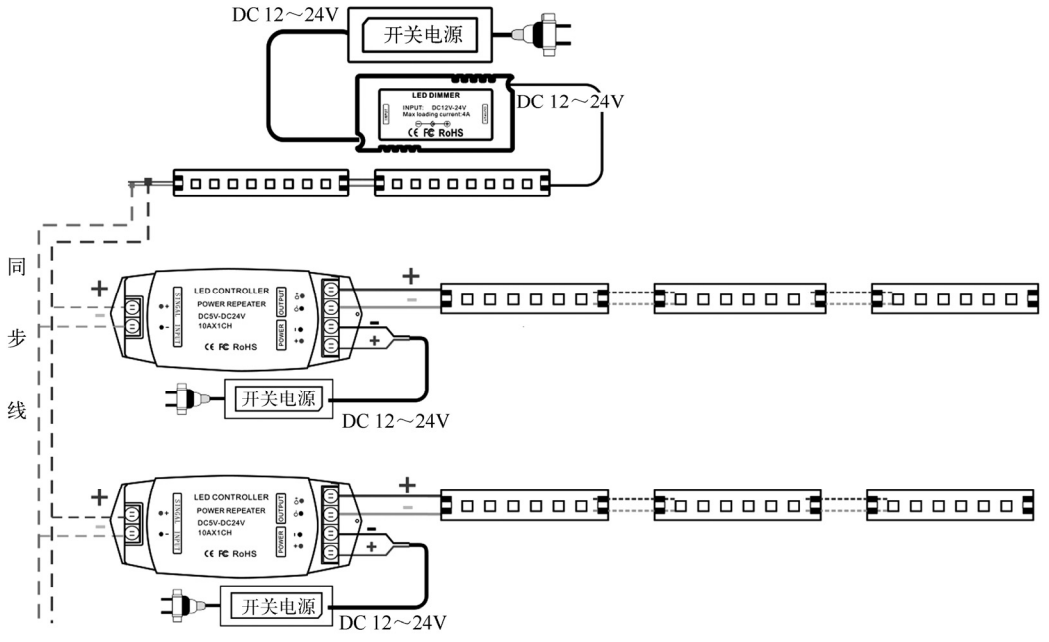
2．LED 灯带与硬灯条的设计

LED 灯带是指把 LED 组装在带状的 FPC（柔性线路板）或 PCB 硬板上，因其产品形状像一条带子而得名。LED 灯带常规分为柔性 LED 灯带和 LED 硬灯条两种。柔性 LED 灯带可以任意弯曲、折叠、卷绕，可在三维空间随意移动及伸缩而不会折断，适合在不规则的地方和空间狭小的地方使用，也因其可以任意地弯曲和卷绕，适合在广告装饰中任意组合各种图案。硬灯条的优点是比较容易固定，加工和安装都比较方便；缺点是不能随意弯曲，不

适合不规则的地方。LED 硬灯条工作电压有 DC 12V/24V，灯珠有 SMD5050、SMD2835、SMD5730。3LED+1R 一组、5LED+1R 一组、6LED+1R 一组，长度为 30cm、60cm、90cm、120cm。



（a）3路恒压功率扩展器（LT-3060-8A）扩展示意图



（b）BC-312-4A 恒压型PWM调光器扩展示意图

图 8-9　单色 LED 模组的调光功率扩展控制示意图

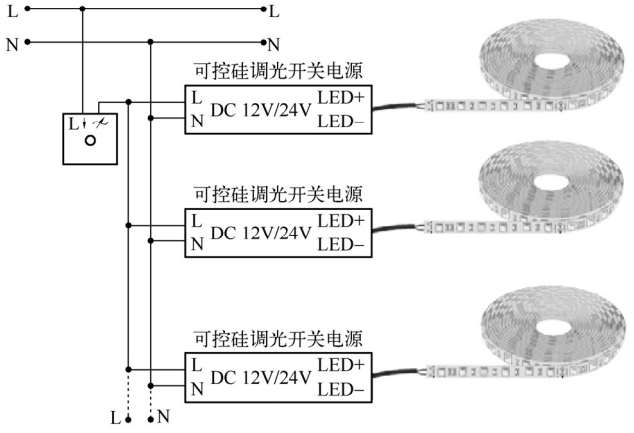
LED 灯带可以结合控制 IC 与 3 颗 SMD5050 LED 组成一个回路，控制器通过控制 IC 对 PCB 里面的电路进行控制，从而控制 LED 灯条变化不同的效果。

目前也有 LED 硬灯条采用恒流二极管与 LED 相结合，恒流二极管（CRD）是一种提供固定电流的二极管，在输出电压异常的情况下都可以提供稳定的电流给 LED。恒流二极管（CRD）和 LED 有良好的匹配性，可以并联使用。恒流二极管（CRD）并联使用时，其总电流为多个并联恒流二极管（CRD）电流之和。

LED 灯带与硬灯条的外形与调光示意图如图 8-10 所示。LED 灯带与硬灯条结合相关调光器进行调光。



（a）LED灯带与硬灯条的外形



（b）可控硅开关电源调光示意图

图 8-10　LED 灯带与硬灯条的外形与调光示意图



☺ 按图纸要求对 LED 灯带长、宽、厚、线材长等尺寸进行检测，要求尺寸在图纸公差内或与样品一致。

☺ LED 灯带无短路、开路、LED 不亮、异色、串色、亮暗不均等不良现象。在低电流条件下 LED 光源不可有亮暗不均的现象。

☺ LED 橱柜灯专注于特定区域的照明与装饰，主要用于商品展示柜、书柜、衣柜、厨房壁柜等照明场合。LED 橱柜灯可使用电缆连接或转接器，将若干 LED 橱柜灯轻松地连接到一起。LED 橱柜灯尺寸有 300mm、500mm、1000mm 几种，采用 2835 贴片灯珠。

8.4 LED 埋地灯的设计与组装

LED 埋地灯（又称 LED 地埋灯）寿命长，有多种颜色可供选择；易于控制，可实现红、黄、蓝、绿、白、七彩跳变、渐变功能，具有亮度高、能耗低、光线柔和、无眩光、灯具效率大于 85%的特点。常规 LED 埋地灯尺寸为 32mm、42mm、45mm、52mm、62mm、75mm、80mm、100mm 不等，防水等级为 IP67，灯体内灌入工程级防水硅胶，密封性好，确保灯体内不会漏水。



LED 埋地灯常用的尺寸规格为 ϕ60×H80mm、ϕ68×H80mm、ϕ68×H87mm、ϕ90×H102mm、ϕ100×H102mm、ϕ110×H102mm 和ϕ110×H110mm。

LED 埋地灯灯体为压铸或不锈钢等材料，坚固耐用，防渗水，散热性能优良；面盖为 304#精铸不锈钢材料，防腐蚀，抗老化；硅胶密封圈，防水性能优良，耐高温；高强度钢化玻璃，透光度强，光线辐射面宽，承重能力强；所有坚固螺钉均用不锈钢；防护等级达 IP67；可选配塑料预埋件，方便安装及维修。市面上常用的 LED 埋地灯如图 8-11 所示。



图 8-11　市面上常用的 LED 埋地灯

LED 埋地灯的输入电压为 AC 220V 或 DC 24V，光源可采用标准小功率（ϕ5mm 或 SMD 2835、5050、5630、5730）、大功率 1W 光源及 COB 光源，广泛用于绿化带、公园、草坪、庭院照明、步行街、停车场、广场夜景照明等。

常用 LED 埋地灯的工作电压、灯罩可以选择。工作电压为 DC 12V、DC 24V、DC 110V、DC 120V 和 DC 240V。灯罩为斜角边缘和玻璃透镜、平角边缘和玻璃透镜、斜角边缘和曲线玻璃透镜。

LED 埋地灯有自控同步和同步多控两种。自控同步是指各个埋地灯内各自有独立的微电脑控制器，同步多控指一台主微电脑控制器控制多个 LED 埋地灯使颜色同步变化。

1．LED 埋地灯安装

（1）安装 LED 埋地灯要与土建工程配合，如挖沟、预埋线管等工作。其施工安装线路按照设计图纸进行。

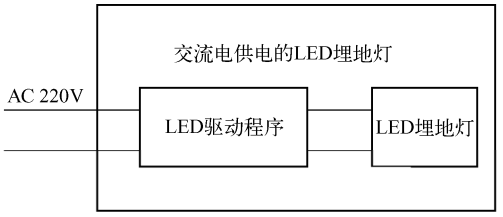
（2）将电源进出线从预埋线管底部的孔中穿出，再将预埋件放入地面预埋孔内固定，外

部夯实或者在周围浇筑混凝土，使其固定。

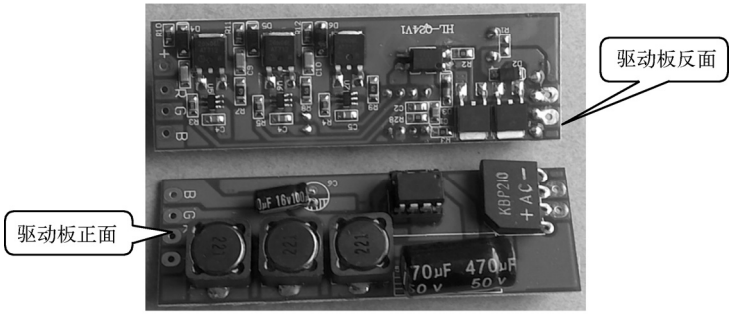
2．灯体安装及电气连接

（1）采用交流电供电的 LED 埋地灯，将交流电源的相线与 LED 埋地灯引出线的红（或棕）线相连接，零线与 LED 埋地灯引出线的蓝线相连接，将保护地线与 LED 埋地灯的黄、绿线相连接（如果有黄、绿线时）。交流电供电的 LED 埋地灯电路原理如图 8-12（a）所示。

现在市面上的交流供电 LED 埋地灯，是将变压器和 LED 埋地灯驱动板放在灯体内，利用过零检测技术，实现所有 LED 埋地灯驱动板的同步。LED 埋地灯驱动板如图 8-12（b）所示。



（a）交流电供电的LED埋地灯电路原理



（b）LED埋地灯驱动板



（c）RGB4脚、6灯珠

图 8-12　直流电供电的 LED 埋地灯电路、驱动板及 RGB 灯珠



过零检测指的是交流系统中，当波形从正半周向负半周转换经过零位时，系统做出的检测。过零检测都要使用光耦，光耦要求并不高，一般的光耦即可以胜任，如 TLP521、4N25、PC187 等。过零检测的作用可以理解为给主芯片提供一个标准，这个标准的起点是零电压。

（2）采用直流电供电的 LED 埋地灯，将电源的正负极与 LED 埋地灯引出线的正负极连接即可。直流电供电的 LED 埋地灯电路、驱动板及 RGB 灯珠如图 8-13 所示。

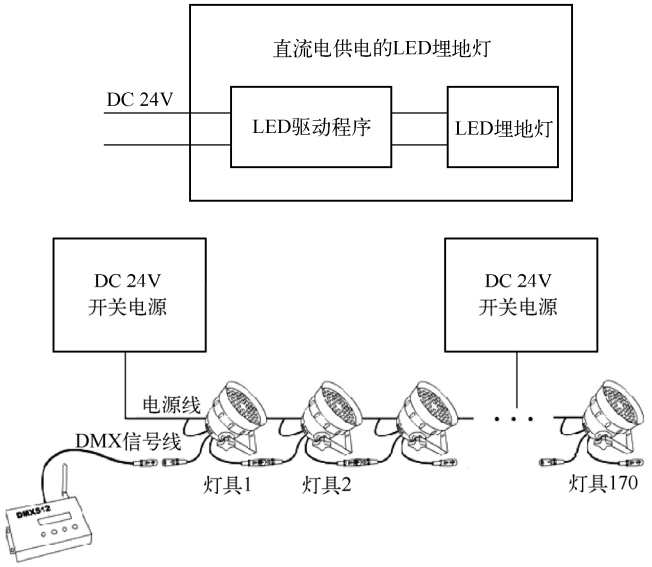


图 8-13　直流电供电的 LED 埋地灯电路原理



LED 埋地灯有外控和内控两种控制方式，内控无须外接控制器，可以内置多种变化模式，而外控则要配置外控控制器实现多种颜色变化，目前市面上以内控方式居多。

（3）在安装 DMX 全彩型 LED 埋地灯时，每隔 60 个灯之后，需要在第 60 个和第 61 个灯之间加接一个功率放大器。

（4）连接牢固后，做好接头处的绝缘、防水处理。在雨量较大的区域，应采用防水接线盒进行连接。

（5）连接完毕、检查无误后，将 LED 埋地灯灯体装入筒内，用螺钉固定，再依次将密封圈、钢化玻璃和压板装上，用螺钉拧紧。待全部安装完毕后，接通电源，灯具就可以工作了。

8.5　LED 洗墙灯的设计与组装

LED 洗墙灯又叫线型 LED 投光灯等，主要也是用来做建筑装饰照明或者用来勾勒大型建筑的轮廓。其技术参数与 LED 投光灯大体相似，相对圆形 LED 投光灯而言，LED 洗墙灯的条形结构的散热装置显得更加好处理一点。市面上常用的 LED 洗墙灯如图 8-14 所示。

LED 洗墙灯都要灌封处理，防水透镜是 LED 洗墙灯的主要部件之一。防水透镜的透镜和支架是一次性注塑出来的。采用高精度非球面光学设计，采用日本三菱原装进口光学 PMMA 原料，保证足够的注塑成型时间（降低产品缩水率）。直径 20mm，高 13.8mm，8°、15°、25°、30°、45°、60°，光面条纹支架，耐温–35～+95℃。

LED 洗墙灯灌封胶是用一种优质原材料研制而成的常温快速固化的缩合型有机硅胶。

它由 A、B 两部分液体组成。当两组分以 100∶10 的重量比充分混合时，混合液体会在室温下固化为柔性弹性体，适用期限和室温下固化时间与采用的材料数量无关。



图 8-14　市面上常用的 LED 洗墙灯

LED 洗墙灯和护栏管有很多的相同点，其参数如下。

（1）电压。LED 洗墙灯的电压为 AC 220V、AC 110V、DC 36V、DC 24V、DC 12V，在选择 LED 洗墙灯时应注意相对应的输入电压。

（2）工作温度。洗墙灯通常用在户外，对温度的要求也比较高，一般情况下要求在 –40～+60℃范围内都可以工作。但洗墙灯外壳是用散热比较好的铝制作的，都能满足工作温度要求。

（3）LED 灯珠数。市面上通用洗墙灯的 LED 数量为 9 个/300mm、18 个/600mm、27 个/900mm、36 个/1000mm、36 个/1200mm。功率有 3W、6W、9W、12W、15W、18W、24W、27W、30W、36W 等。

（4）防护等级。防护等级是所有室外灯具的重要参数，对洗墙灯同样重要，也是影响目前洗墙灯质量的重要指标。在户外使用时，要求防护等级都要在 IP65 以上。同时对耐压、耐碎裂、耐高低温、耐燃、抗冲击老化等级也有要求。

（5）控制方式。LED 洗墙灯主要有两种控制方式：内控和外控。内控就是不用外接控制器，设计人员把控制系统设计在洗墙灯里面，其效果不能改变。外控就是外接控制器，其效果可以通过调整主控的参数来控制。也有很多的洗墙灯支持 DMX512 的控制系统。外控方式 DMX512 控制色彩效果有单色、追逐、流水、256 级灰度等。

（6）颜色规格。2 段、4 段、6 段、8 段全彩颜色，七彩颜色。单色的有红、黄、绿、蓝、紫、白等。

（7）发光角度。其发光角度一般有窄（20° 左右）、中（50° 左右）、宽（120° 左右）3 种。目前，大功率 LED 洗墙灯（窄角度）的最远有效投射距离为 20～50m。

在选择 LED 大功率洗墙灯时必须考虑上述参数，为了减少 LED 光损，需二次配光，对每个 LED 配置一个由 PMMA 制成的高光效透镜。

LED 洗墙灯体积比较大，散热比较好，所以在设计方面也大大降低了难度。但在实际应用中，也会出现因恒流驱动做得不是太好而损坏的情况，所以怎样让洗墙灯能够更好地运行，重点就在控制和驱动方面。LED 洗墙灯通常用 1W 的 LED 作为光源，采用串联或并联的

方式，通常为 300mA、600mA、900mA 的 LED 恒流驱动。用 LED 恒流驱动的目的是提高 LED 的寿命和光衰。就其效率和稳定度来说，尽可能选择效率高的恒流源，以减少能量的损耗和降低温度。LED 洗墙灯也可以利用 SMD5050、SMD5730 或其他形式的 LED 灯珠作为光源，利用恒压源作为供电电源。

1．LED 洗墙灯的特点

（1）采用 LED 光源，单色性好，色彩鲜艳丰富。色彩饱和度可达到 90%以上，使灯光更加艳丽。

（2）额定工作条件下寿命可以达到 50000h，工作 10000h 时亮度衰减只有 5%。采用 PMMA 光学级透镜，多角度选择。

（3）采用钢化玻璃，镜面清晰通透；抗冲击，耐高温。灯体表面经过阳极氧化处理，能有效抗腐蚀、抗开裂、抗氧化、防生锈。

（4）LED 中不含紫外线和红外线，故热辐射和有害辐射极低；LED 光源有红、绿、蓝 3 种，可组合成不同光色，使颜色变化多彩；并且有色彩渐变、颜色彩虹、频闪等组合变换效果。

（5）LED 照明灯具频闪速度可以随声音的高低、节奏的变化而变化。

（6）恒流控制、保护功能：在个别 LED 损坏情况下其他 LED 正常发光，不影响使用，并便于维修。

（7）符合国际标准 DMX512 协议。与符合该标准的各类数字调光台兼容。

（8）灯具可工作在控制台控制和自动运行两种方式下。自动运行模式不需要控制台。



LED 洗墙灯预留漏水的孔，防水胶采用有机硅材料。

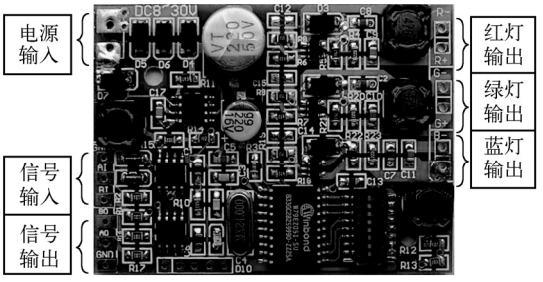
2．DMX512 LED 洗墙灯的设计

设计 DMX512 LED 洗墙灯时，在 LED RGB 的基础上加一个 DMX512 大功率解码模块就行。具体方案如下：用江门思域 DMX05 系列模块驱动 LED 洗墙灯，这里用的模块是 DMX05V8B。

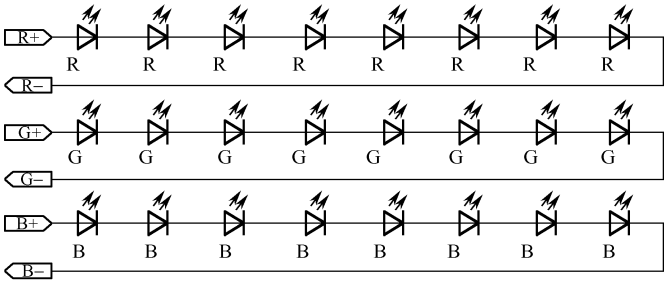
1）DMX05V8B 概述 本产品遵从标准的 DMX512 协议，占用 3 个通道（R、G、B 各一通道），可由控制台直接控制；适用于洗墙灯、泛光灯、投光灯等各种大功率 LED 灯具；兼备自动寻址或手动设置地址 DMX512 方式和内置 7 色渐变效果自动切换。DMX05V8B 模块外形如图 8-15（a）所示，原理图如图 8-15（b）所示。在实际工作中要配合 DMX512 解码控制器一起使用。



3 通道 DMX512 解码器板采用国际标准 DMX512 协议（1990），兼容性强。RS485 差分传输，具有高抗干扰、传输距离远、接线方便等特点。驱动之间信号距离可达 100m，可接 170 个驱动板，每隔 32 个模块时需加放大器。



（a）DMX05V8B模块外形



（b）原理图

图 8-15　DMX05V8B 模块外形与原理图



☺ DMX512 恒流驱动模块适用于 LED 洗墙灯、LED 泛光灯、LED 投光灯等，模块间的传输采用优质网线（内阻小于 15Ω/100m），距离可达 100m。使用网线其中的一组双绞线连接 AI、BI（建议使用专用于数据传输的橙色、橙白或绿色、绿白），GND 使用另外一组即可。

☺ DMX512 恒流驱动模块功率输出线（VCC 与 RGB）绝对不能短路，安装时防止静电对电路的破坏。

☺ 为了达到高的稳定性，输入电压跟输出的 LED 总压降之间电压差在 2～10V 范围内为最佳。

2）技术指标

☺ 外观尺寸：62（L）× 45（W）× 12（H）（mm）。

☺ 宽电压输入：DC 8~30V，输出电流：280 ± 20mA。

☺ 灰度级别：256 级。

☺ 最大输出功率：24W（当 30V 输入时接 24 灯）。

☺ 模块最大功率：<30W。



请使用优质直流电源供电，为了提高稳定性，输入电压与 LED 的总电压差越小越好。

3．设备连接

功率输出端“R+、R–”、“G+、G–”、“B+、B–”分别对应 3 路输出 LED 的正极和负极；解码器之间的信号级联。

方式一：自动寻址。

此时拨码开关 1～8 全为 OFF；“AI、BI、GND”为信号输入端（其中 AI 对应 DATA+，BI 对应 DATA–），连接上级（DMX512 控制台或上一个解码器）的信号输出；“AO、BO、GND”为自动编号时的信号输出端（其中 AO 相当于 DATA+，BO 相当于 DATA–），做标准 DMX512 总线并信号接法时不需要。

方式二：手动选择模块地址，如图 8-16 所示。

输入信号采用总线并联方式从“AI、BI、GND”输入，“AO、BO、GND”不连接。通过拨码开关对通道进行选择。

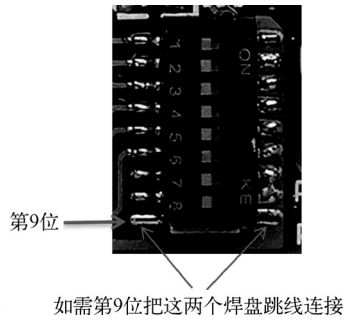


图 8-16　手动选择模块地址



拨码开关只有 8 位，如需用到第 9 位，只需用导线把第 9 位短接即可。对应的模块地址转换成拨码开关表示公式：把地址依次减最大的权数直到结果为 0。

拨码通道地址选择举例。

如模块地址码要设定 112，则 112−64=48，48−32=16，16−16=0；112 地址码对应拨码开关应该是第 5、6、7 位拨到 ON 位置。

如模块地址码要设定 183，则 183−128=55，55−32=23，23−16=7，7−4=3，3−2=1，1−1=0；183 地址码对应拨码开关应该是第 1、2、3、5、6、8 位拨到 ON 位置。



☺ 检查合格后将灯板整齐地放置于作业台面上，灯板不可有划伤、脏污，LED 不可有脱帽等不良现象。

☺ 作业过程须不定时抽检透镜是否有松脱不良现象，发现透镜安装不良应立即通知相关负责人。

☺ 作业过程灯具主体要轻拿轻放，导热硅脂须刷均匀，不可过厚。

4．使用安全和注意事项

☺ 在安装、使用前仔细阅读说明书，并将说明书妥善保管，以备查用。
☺ 在使用前设定好灯具的地址范围和工作模式。
☺ 安装和维修时，切断电源。
☺ 当灯具运行时，切勿带电拔插DMX信号线。
☺ 为确保灯具安全使用，必须将灯具良好接地。
☺ 当灯具工作在控制台控制模式时，DMX信号线路上的所有灯具均不能为主机模式，否则灯具无法正常工作。
☺ 当灯具工作在主从模式时，一条线路上必须有而且只能有一台灯具为主机模式，同时不允许控制台信号接入。

8.6 LED数码管的设计与组装

LED数码管由优质、超高亮LED组成，主要用于城市景观亮化。市面上常用的LED数码管如图8-17所示。LED数码管由红、绿、蓝三基色混色实现渐变、闪变、扫描、追逐、流水等各种效果，灯管长度0.5m或1m可选；抗紫外线照射，防水、防潮。一般LED数码管1m内的LED颗数为96颗、108颗、120颗、144颗。目前其外形以D形管或Ω形管为主，使用电压为DC 12/24V和AC 220V。市面上常用的LED护栏灯（管）如图8-17所示。

（1）特点。LED护栏灯（管）中的LED在电路板上按红、绿、蓝顺序等距呈直线排列，以专用驱动芯片控制（如TM1812、DM13C等），构成变化无穷的色彩和图形。

（2）应用范围。特别适用于广告牌背景、立交桥、河、湖护栏及建筑物轮廓等大型建筑物。用护栏管装饰建筑物的轮廓，起到突出美彩、亮化建筑物的效果。

（3）规格。直径有30mm、40mm、50mm、80mm、100mm、110mm等。

（4）外形。有圆形、半圆形、D形、Ω形。外壳有奶白、透明两种。外壳采用阻燃PC塑料制作，强度高、抗冲击、抗老化、防紫外线、防尘、防潮，防护等级达到IP65。

（5）控制方式。有外控和内控两种，内置控制方式无须控制器，安装方便快速。外控必须安装控制器。



LED数码管有内控和外控两种，内控是将变化效果程序的芯片置入灯管里面，不能随意更改变化的时间和效果。外控是将变化效果程序的芯片外置于一个控制器中，可以通过对控制器中的芯片进行编程，从而改变想要的效果。



图 8-17　市面上常用的 LED 数码管

1．LED 数码管组件材料

☺ 主要材料：LED 数码管、数码管安装卡子、防水电箱、开关电源、LED 数码管主控器。

☺ 辅助材料：公母插头、超 5 类网线、2.5mm^2 电源线、自攻螺钉、胶粒等。

2．LED 外控数码管安装步骤

（1）安装好供电 AC 220V 系统、直流供电系统、控制器供电、信号连接线。

（2）先将 LED 数码管安装到墙体上，在墙体上打孔，装膨胀胶粒，再装 LED 数码管，用自攻螺钉锁住；数码管之间的距离根据客户的要求而定，一般是 1～3cm。

（3）将信号线对接起来，DMX512 LED 数码管信号线一般是四芯或五芯的公母插头，串行 LED 数码管信号线是两芯的公母插头；将两芯电源线的公母插头或 2×0.5mm^2 的护套线直接接到开关电源直流输出部分。

（4）安装电源（开关电源）。根据开关电源的功率（如 350W、400W）及数码管的功率来计算，确定每个开关电源可以带多少条数码管。比如 108 灯的 LED 七彩数码管是 10W/m；144 灯的 LED 数码管是 12W/m。若用 400W 的开关电源，则可以带 108 灯 36m 数码管；144 灯的则带 32m 数码管。若开关电源可以带 36m 数码管，则开关电源放在中间位置，每边引出两条导线供电，每边各带 18 条。



（1）开关电源一般只用到 80%～90%的功率。

（2）不管开关电源的功率多大，开关电源放在中间，最好不要超过 25m（一般来说 20m 是比较合适的）。因为电源导线有功率损耗，数量接得越多，接近导线尾部的 LED 数码管工作电压越低，亮度越暗。

（5）线路损耗及线路压降的计算。

$$P_{电线}=I^2R \quad V_{电线}=IR \quad R_{电线}=\sigma L/S$$

式中，L 为电线长度；S 为电线横截面积；σ为电线电导率。也可以查电工手册得到线路损耗及线路压降。

例如，用长度为 10m（正、负极电线各 5m）的 24AWG 铜芯电线，通过电流为 2A，其损耗的功率及线路压降为多少?

查电工手册可知：$R_{电线}=0.737\Omega$，$V_{电线}=2\times0.737=1.474V$，$P_{电线}=2\times0.737=2.948W$。

从以上计算可以看出，线路电流较大时，要注意选择合适的导线截面，否则线路损耗及线路压降是相当大的。

（6）串行 LED 数码管控制器的安装。安装时直接将串行 LED 数码管控制器信号输出端接在 LED 数码管上；串行 LED 数码管控制器电源线接 AC 220V。信号接信号公母插，电源接 $2\times0.5mm^2$ 扁线，棕色线接电源正极（+），蓝色线接负极（–）；然后将 LED 数码管与串行 LED 数码管控制器的信号对接，如果 LED 数码管与串行 LED 数码管控制器的距离远（棕色线接入 DAT 处，蓝色线接入 GND 处），则可以用超 5 类网线连接，信号衰减比较小；每个串行 LED 数码管控制器只能带固定数量的 LED 数码管，一般可以带到 128m。



（1）轮廓亮化时，一般一个串行 LED 数码管控制器带一路；串行 LED 数码管控制器与 LED 数码管之间也采用超 5 类网线连接，信号公母插与网线对接起来接到分控器上；不同回路的数码管之间的信号线需要断开。

（2）串行 LED 数码管控制器可以手动调节变化速度和模式，操作快捷简单。

（7）DMX512 控制器。DMX512 控制器能够输出标准的 DMX512 控制信号，能够级联 DMX LED 灯具，将多个 DMX512 控制器配合组成完整的 DMX512 LED 灯具控制系统。在大型的 LED 户外景观照明中 DMX512 控制器和 DMX LED 灯具得到广泛的应用。目前国内 DMX512 控制器通常内置 4 针接口，分别为 PI、A、B、GND。DMX512 控制器信号是 485

并行的信号，所有的接收端都是并联在 DMX512 控制器输出线上的。

（8）通电，通信号。将开关电源全部接到一条 220V 主电源上，功率要控制在设计导线的功率之内，用一个空气开关和时控开关控制 LED 数码管统一开关时间。同时将主控器上的插头插在 220V 的电源上。

3．LED 数码管的防护

目前，市场上数码管在保质期内的损坏率高达 8%～15%，质量的稳定性成为用户最大的烦恼，也制约着城市亮化的推广进展。如何解决这个现实问题，成了困惑业界的课题。

- ☺ 保质期内，元器件早期的失效率为 0.3%～1%，实际损坏率会因企业对元器件的质量控制要求而不同。
- ☺ 数码管管内空气中的水分及酸碱性物质因温度的变化侵蚀元器件，其损坏率为 2%～3%。
- ☺ 管壳意外胀裂、堵头脱胶导致进水所造成的损坏率为 6%～11%。

实际上只要 PCB 放在铝槽内，在 PCB 上滴胶，就可以解决水分凝珠对线路板的损害问题（防护层与电子元件及管材无不良化学反应，防护层耐–20～200℃高温，防水等级达到 IP67 等）。同时也解决了堵头与管材连接的防护问题，以及数码管管材经不住恶劣环境的侵蚀而形成的破裂进水、管材内存在的空气在低温环境下的水分凝珠对线路板的损害等问题。

4．LED 护栏管元器件的选择

（1）灯珠。LED 数码管是护栏管中最重要的器件，其价值最高。LED 灯珠必须选用正规大厂的产品，国内如国星光电、蓝箭电子、杭州友旺等。根据经验，LED 灯珠芯片一定要选用 12μm 或以上的芯片，肯定强于 9μm 的芯片，这主要因为芯片要散热，大芯片在光衰和可靠性方面要比小芯片好得多。

（2）电源。LED 数码管的供电有两种方式：AC 220V 的高压和 36V 以下的低压。AC 220V 直接供电是一种危险而又不经济的方式，低质的做法是用电容或电阻降压后供给。一般应用在单色的 LED 护栏管中。因为这样做，安装接线方便，可以节省交流供电导线。一般在灯管中安装用电容或电阻降压设计的电源，采用公母插串接的方式。笔者建议用 36V 以下的直流供电，DC 24V 供电是最佳供电方式。电源最好选用开关电源（350W、400W），考虑到线路成本和线路的损耗可采用分段供电的方式。

（3）PCB。用 FR4 材料的 PCB。

5．LED 数码管需要解决的可靠性问题

（1）防水。市面上常见的 LED 数码管的 PC 罩接口一般用热熔胶或硅胶密封，管内的 LED、电路板、元器件都是裸露的，因为安装环境不同，昼夜温差大的地方，外罩的端头与外罩热胀冷缩不同，导致热熔胶或硅胶密封处出现缝隙，下雨后雨水渗进 PC 管内部，容易引起电路短路而烧毁 LED。要解决这个问题，在工艺上应做好多重防水。另一个就是注意

电源线电气连接的接头问题。很多厂家为了便宜往往选择塑胶接头，或者选择质量较差的金属接头，由于塑胶会变形，从而导致防水 O 形胶圈失效，雨水渗进接头内部导致电器短路。笔者建议用 $2\times0.5mm^2$ 的护套线作为电源线，直接接到开关电源输出的直流供电线上。信号线选择塑胶接头，或者选择质量较好的金属接头。管芯采用灌封胶的方式，将 LED、电路板、元器件都密封。

（2）防紫外线（UV）。LED 数码管要求混光防雨，所以外面都会有外罩。外罩的材料选择很重要，关系到混光效果好不好，质量好的产品都会使用增加了抗紫外线（UV）的材料，如 GE、拜尔、三菱等。很多不规范的公司为了降低成本，会使用混合了水口料的材料，无法抗紫外线（UV），时间不长，PC 外罩就变黄了，从而影响出光效果，透光率也大大减小。

（3）防开裂。这主要是外罩的问题，如果选择的是带水口料的材料，则材料内应力很难去除，外罩容易开裂。即使选择比较好的材料，如果生产工艺、生产过程控制不合理，也会产生内应力。有经验的公司都会在注塑时选择恒温保护，尽量减小材料内应力，并采用物理方法来消除材料内应力。LED 数码管工作在室外，由于受到温差的影响，容易热胀冷缩，这是 PC 外罩开裂的主要原因。目前比较好的解决方法就是选用热胀冷缩系数最小的材料和生产工艺质量好的公司来制作。

（4）线损。LED 数码管是直流供电，一般生产厂家都会使用符合国标的 $1.5mm^2$ 以上的导线。如果导线截面积不够或材料的杂质太多，或者原来的铜导线由铝导线代替，电阻值就较大，前后面就有较大的电压差，为了让后面的 LED 数码管也能正常工作，就需要提高输入电压，这样无形中对前面的 LED 数码管产生了影响，同时增加了功耗，很多电能不是用于驱动 LED 数码管，而主要浪费在导线的线损和恒流芯片上。如果设计的产品前后电压差超过 15%，问题就很严重了，因为现在市面上通用的恒流芯片都是有功耗要求的，电压高功耗就大，如果功耗太大，热量太多散不出去，就会导致芯片烧毁。这就是级联的 LED 数码管前面管要比后面管损坏得多的原因。

（5）散热。散热设计好不好，不仅是成本问题，更多的是体现设计企业的实力。一般 LED 数码管的外罩和底座是一体的，都是 PC 材料。当 LED 排布很密时，在通电热平衡后，LED 的结温已经很高了，将造成 LED 的寿命缩短。实力强的数码管设计公司，在设计数码管外罩时就会想办法把 LED 的热量和恒流芯片的热量有效地传导到大气中去。设计一个铝槽，将 PCB 放到铝槽内（铝的导热系数高，能够将内部热量导出），将 LED、电路板、元器件都密封在铝槽内。注意在设计时也要尽量将 PCB 靠近铝槽，安装时只要管芯放在 PC 管就可以，两边用端盖固定，这样既解决防水，又解决散热问题。

（6）灌封胶的选用。合格的灌封胶应具有以下特点。

☺ 黏度低、流动性好、容易渗进产品的间隙中，固化物具有良好的绝缘、抗压、粘接强度高等电气及物理特性。

☺ 环保、无毒无害，满足目前出口电子产品对产品的环保要求越来越严格的趋势。

☺ 防潮、防水、防油、防尘性能佳。

☺ 抗老化性能优良，长久使用也不会造成 LED 灯变色，透光性好。
☺ 耐温性能稳定，能保证产品的耐温性能，能解决长期在北方寒冷的天气和南方湿热的环境下使用时的脱落问题。
☺ 优良的导热性能，能够把光珠或电路上的热量传导出去。

6．串行 LED 数码管的设计

这里介绍的 LED 数码管是外控管。



外控的只能做低压，如 DC 12V 或 24V。从性能上来说，外控的比内控的质量稳定。

本节以 TM1812 作为 LED 数码管的驱动芯片来设计 LED 数码管，下面先介绍一下 TM1812 芯片的功能与特点。TM1812 是 12 通道 LED（发光二极管显示器）驱动控制专用电路，内部集成有 MCU 数字接口、数据锁存器、LED 高压驱动等电路。通过外围 MCU 控制实现该芯片的单独辉度、级联控制，实现户外大屏、护栏管、幻彩灯条的彩色点阵发光控制。本产品性能优良，质量可靠，采用 SOP16 的封装形式，具有以下特点：

☺ 采用高压功率 CMOS 工艺。
☺ 输出端口耐压 24V。
☺ 芯片 VDD 外接串联电阻，电压支持 6～24V 输入。
☺ 内置电源稳压电路。
☺ 辉度调节电路（256 级辉度可调）。
☺ 单线串行级联接口，通过一根信号线完成数据的接收与解码。
☺ 振荡方式：内置双 RC 振荡并根据数据线上信号进行时钟同步。
☺ 内置上电复位电路。
☺ PWM 控制端能够实现 256 级调节，扫描频率不低于 400Hz/s。
☺ 当刷新速率为 30 帧/s 时，级联灯个数不少于 1080 个。
☺ 数据发送速率为 800Kbps。
☺ 封装形式：SOP16。

1）引脚定义（见图 8-18）

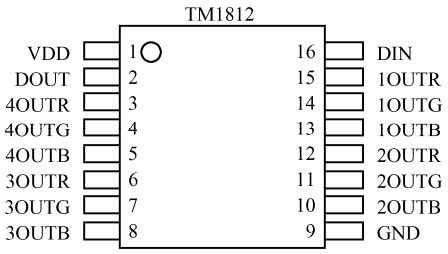


图 8-18　TM1812 引脚图

2）引脚功能定义（见表 8-1）

表 8-1　引脚功能定义

序号	引 脚 号	符　　号	引 脚 名 称	说　　明
1	16	DIN	数据输入	显示数据输入
2	2	DOUT	数据输出	显示数据级联输出
3	15	1OUTR	LED 驱动输出	第 1 路 Red PWM 控制输出
4	14	1OUTG	LED 驱动输出	第 1 路 Green PWM 控制输出
5	13	1OUTB	LED 驱动输出	第 1 路 Blue PWM 控制输出
6	12	2OUTR	LED 驱动输出	第 2 路 Red PWM 控制输出
7	11	2OUTG	LED 驱动输出	第 2 路 Green PWM 控制输出
8	10	2OUTB	LED 驱动输出	第 2 路 Blue PWM 控制输出
9	6	3OUTR	LED 驱动输出	第 3 路 Red PWM 控制输出
10	7	3OUTG	LED 驱动输出	第 3 路 Green PWM 控制输出
11	8	3OUTB	LED 驱动输出	第 3 路 Blue PWM 控制输出
12	3	4OUTR	LED 驱动输出	第 4 路 Red PWM 控制输出
13	4	4OUTG	LED 驱动输出	第 4 路 Green PWM 控制输出
14	5	4OUTB	LED 驱动输出	第 4 路 Blue PWM 控制输出
15	1	VDD	逻辑电源	DC 5V±10%，内置 5V 稳压管，需外串电阻
16	9	GND	逻辑地	接系统地

3）功能描述　芯片采用单线通信方式，采用归零码的方式发送信号。芯片在上电复位以后，接收 DIN 端打来的数据，接收够 4 组 24b 数据后，DO 端口开始转发数据，供下一个芯片提供输入数据。在转发之前，DOUT 口一直拉低。此时芯片将不接收新的数据，芯片 OUTR、OUTG、OUTB 三个 PWM 输出口根据接到的数据，发出相应的不同占空比的信号，该信号周期为 4ms。

如果 DIN 端输入信号为 RESET 信号，芯片将接收到的数据送显示，芯片将在该信号结束后重新接收新的数据，在接收完开始的 4 组 24b 数据后，通过 DOUT 口转发数据。

芯片采用自动整形转发技术，使得该芯片对线形传输时，级联个数不受信号传送的限制，但对显示屏的应用会受限于刷屏速度要求。例如，设计一个显示屏，有 1080PCS 灯珠（360 片 TM1812）级联，它的刷屏时间为 360×0.8×2=0.576ms（芯片的数据延迟时间为 0.8μs），不会有任何闪烁的现象。

4）应用电路（见图 8-19）

TM1812 可以配置成 6～24V 电压供电，但根据输入电压不同，应配置不同的电阻 R，如表 8-2 所示。

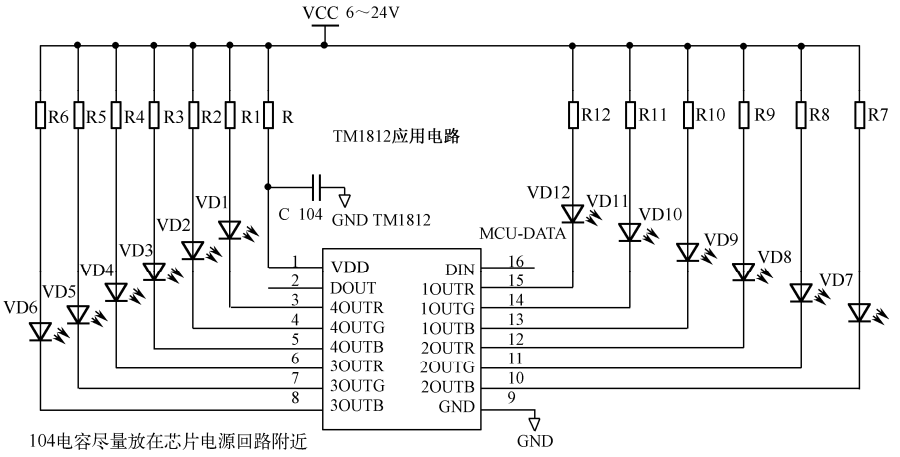


图 8-19　TM1812 应用电路

表 8-2　电源配置电阻

序　　号	电 源 电 压	建议电源接口与 VDD 间连接电阻	说　　明
1	6V	330Ω	如果用 DC 5V 直接供电，R 电阻不用接；VD1 二极管的作用是防止电源接反造成芯片烧坏
2	9V	1.2kΩ	
3	12V	2.4kΩ	
4	24V	6.8kΩ	

5）串行 LED 数码管电路设计　以 TM1812 作为控制芯片，设计 1m 8 段的 LED 数码管。LED 灯的数量为 120 个，工作电压为 DC 24V，1m 8 段的 LED 数码管由两个 TM1812 组成（即 1m 8 段 LED 数码管是由两个 0.5m 4 段 LED 数码管组成的）。

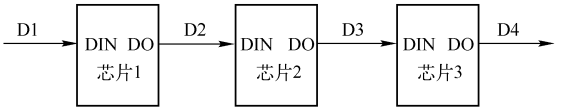


图 8-20　TM1812 连接示意图

TM1812 连接示意图如图 8-20 所示。串行 LED 数码管电路原理图（0.5m）如图 8-21 所示。

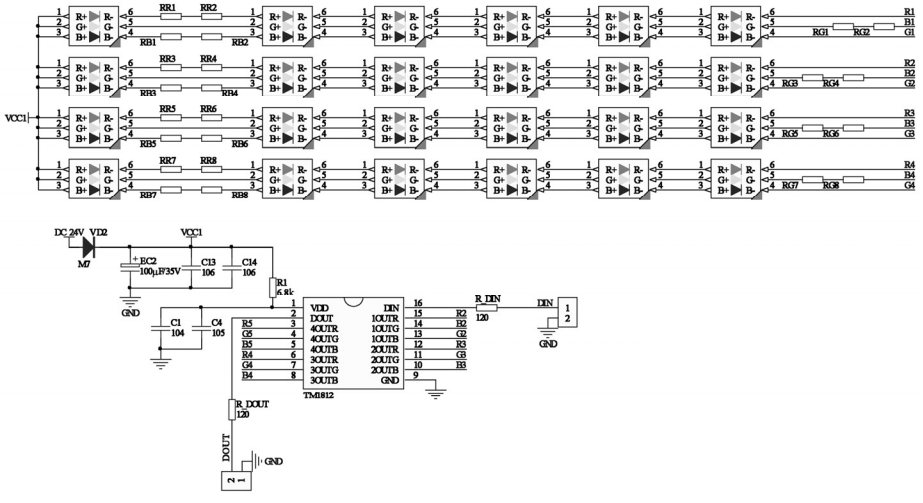


图 8-21　串行 LED 数码管电路原理图（0.5m）



读者可以根据实际的设计要求自行修改限流电阻。

7. 串行控制器（控制 TM1812 芯片）

选 SD-301 系列控制器作为 TM1812 芯片的驱动 LED 数码管控制器。每路可带 1024 点，TTL 两线输出（2 路信号完全一样），支持 1803/1809、1804/1812 等芯片。SD-301 系列控制器如图 8-22 所示。



图 8-22　SD-301 系列控制器

在 SD-301-L 控制器前面必须加空气开关、微电脑时控开关、交流接触器，保证对控制器统一供电，才能保证 LED 数码管同步工作，同一相电源供电。SD-301 系列控制器应用了过零检测技术，采用变压器隔离办法。



LED 数码管的安装包括供电部分与控制部分，供电部分分为交流供电与直流供电。主要是对控制器和 LED 数码管供电，LED 数码管供电电源采用 350W DC 24V 开关电源。

串行控制器的接法如图 8-23 所示，串行 LED 数码管供电接法如图 8-24 所示。

8．DMX LED 数码管的设计（TM512AL+TM1812）

1）TM512AL 简介　TM512AL 是 DMX512 差分并联协议 LED 驱动芯片，可选择 1/2/3/4 通道高精度恒流输出，并带解码转发功能，可通过 DO 口转换成单线 800Kbps 数据输出，输出数据编码形式为归 0 码，DO 输出数据可直接控制 TM1812，可转发 192 个通道数据。TM512AL 解码技术精准解码 DMX512 信号，可兼容并拓展 DMX512 协议信号，TM512AL 对传输频率在 200～500Kbps 以内的 DMX512 信号完全自适应解码，无须进行速率设置，寻址可达 4096 通道。TM512AL 内置 E^2PROM，无须外接，同时支持在线写码，芯片提供 4 个耐压 30V 可达 60mA 的高精度恒流输出通道，并且通过 1 个外接电阻来设定电流的输出大小。TM512AL 有 PWM 反极性降频输出功能，此功能适合外挂三极管、MOS 管进行扩流驱动。高端口刷新率，大幅提高画面刷新率。TM512AL 更可将多组恒流输出接口短路以扩大电流驱动能力。为建筑物装饰和舞台灯光效果 LED 照明系统而设计，某一个芯片的异常完全不影响其他芯片的正常工作，维护简单方便。产品性能优良，质量可靠。

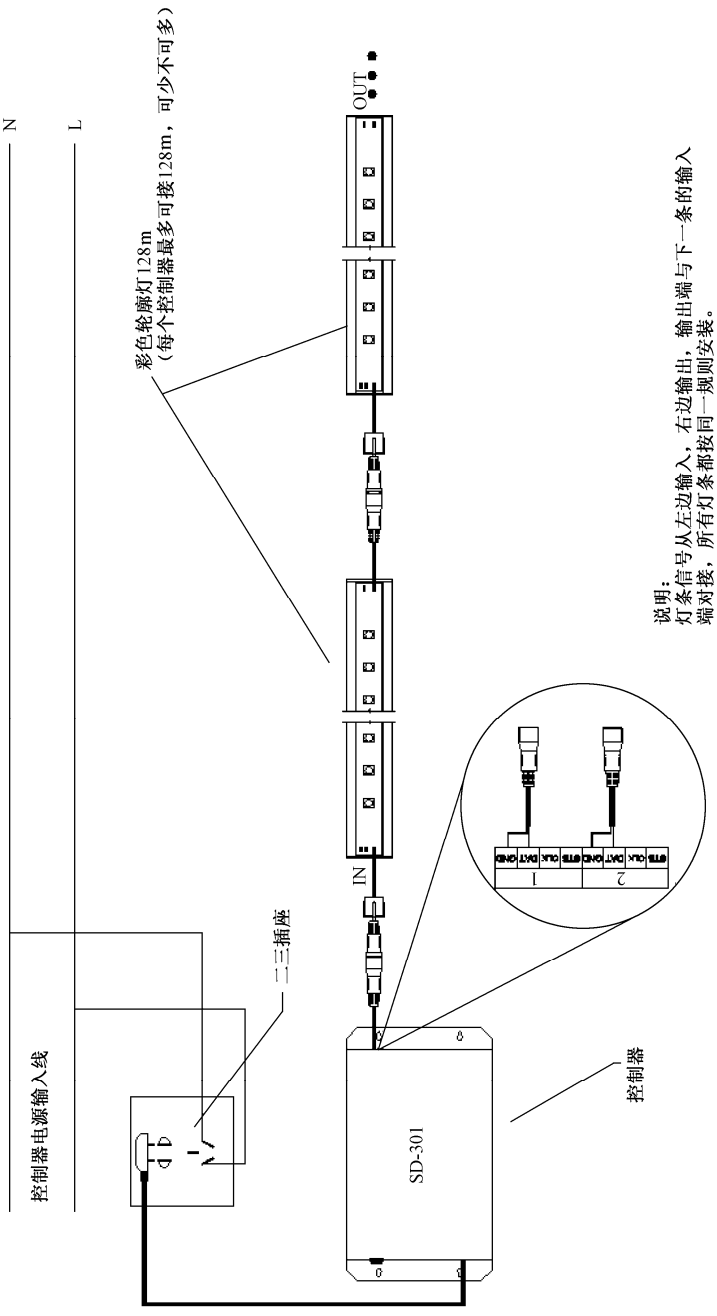


图8–23　串行控制器的接法

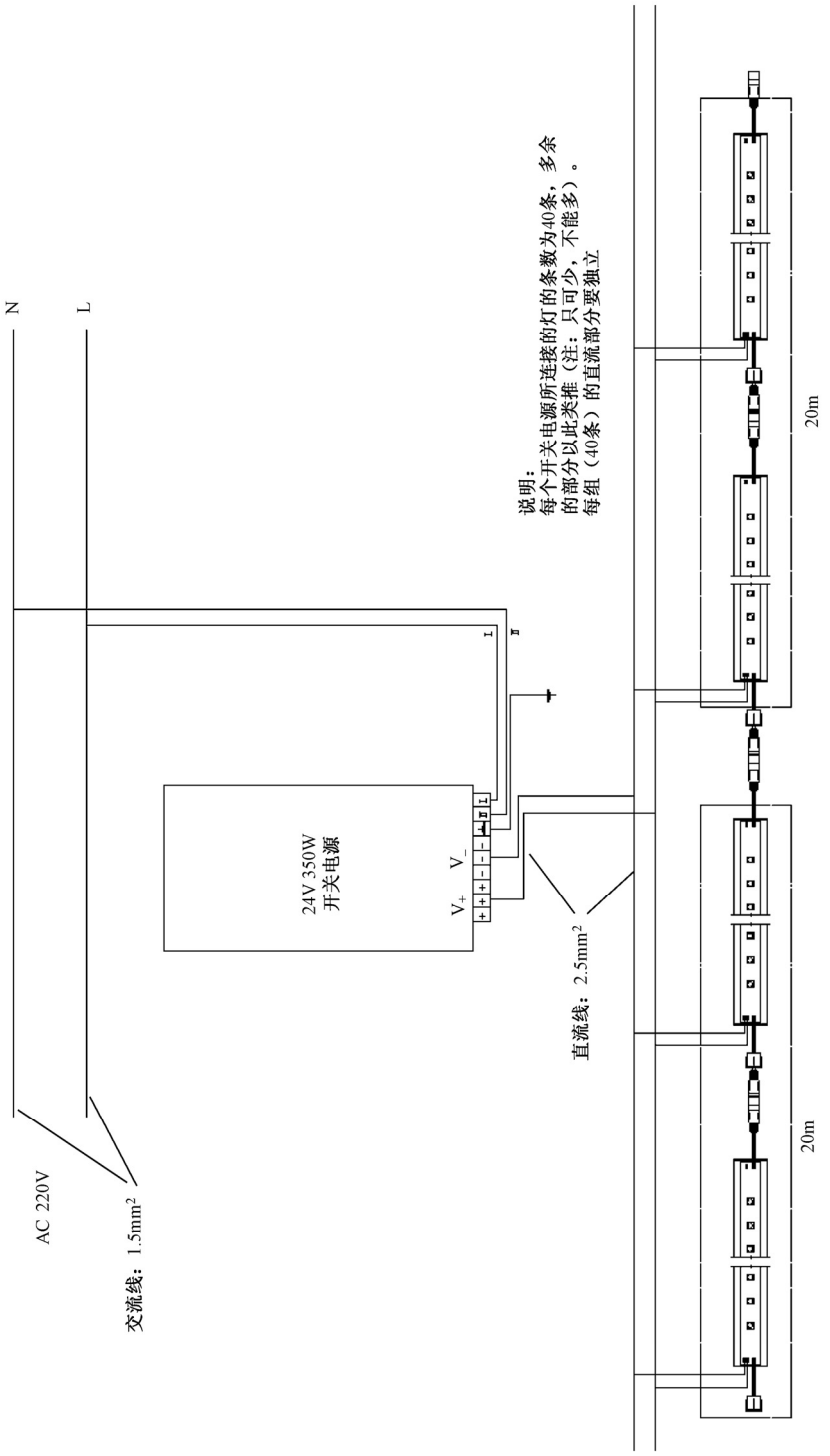


图8-24　串行LED数码管供电接法

2）TM512AL 引脚图（见图 8-25）

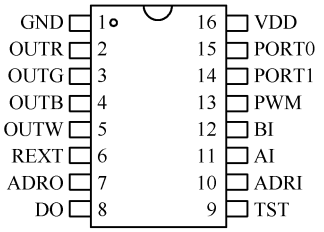


图 8-25　TM512AL 引脚图

3）TM512AL 引脚功能定义（见表 8-3）

表 8-3　引脚功能定义

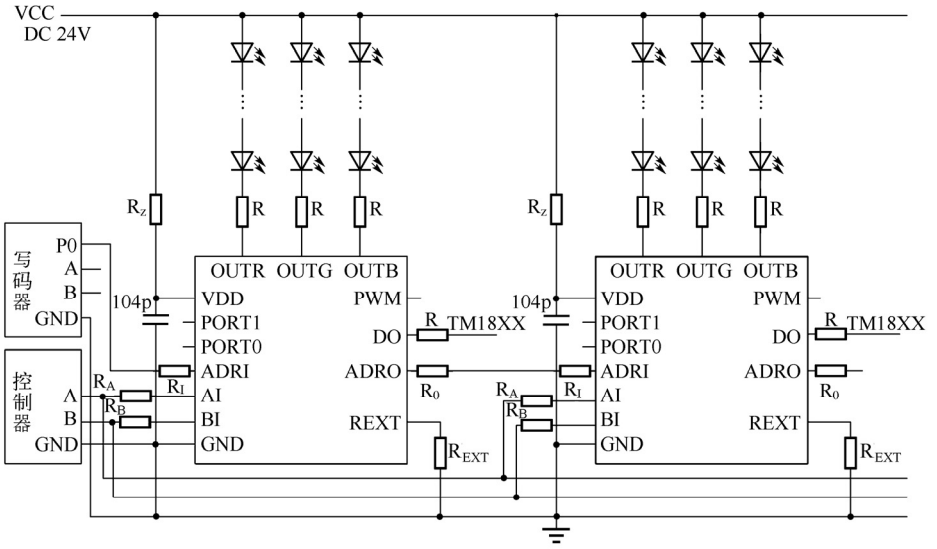
序号	引脚号	符号	输入/输出端口	说　明
1	1	GND	逻辑地	电源负极
2	2	OUTR	输出	Red PWM 控制输出
3	3	OUTG	输出	Green PWM 控制输出
4	4	OUTB	输出	Blue PWM 控制输出
5	5	OUTW	输出	White PWM 控制输出
6	6	REXT	输入	恒流反馈端，对地接电阻调整输出电流大小
7	7	ADRO	输出	地址写码线输出
8	8	DO	输出	解码转发通道，可控制 TM18 系列
9	9	TST	输入	测试脚，内置下拉
10	10	ADRI	输入	地址写码线输入，内置上拉
11	11	AI	输入	差分信号，正
12	12	BI	输入	差分信号，负
13	13	PWM	输入	输出极性选择，一般悬空，接 VDD 后输出极性相反，同时端口刷新频率降为 500Hz
14	14	PORT1	输入	字段选择，内置下拉
15	15	PORT0	输入	字段选择，内置下拉
16	16	VDD	逻辑电源	电源正极

4）TM512AL 应用电路原理　TM512AL 应用电路原理图如图 8-26 所示。

5）DMX LED 数码管电路设计　以 TM512AL+TM1812 作为控制芯片，设计 1m 8 段的 LED 数码管。LED 灯的数量为 48 个（SMD3535、RGB），工作电压为 DC 24V，1m 8 段的 LED 数码管由两个 TM512AL+TM1812 组成（即 1m 8 段 LED 数码管是由两个 0.5m 4 段 LED 数码管组成的），DMX LED 数码管电路原理图（0.5m）如图 8-27 所示。

6）写码注意事项

（1）写码器上除写址接线端（PO）外应有 A、B 接线端，写码时 AI、BI 线须接在写码器 A、B 接线端上，写码器的 A、B 接线端在写码时保持 A 高 B 低的电平，IC 须在 AI 高 BI 低的状态下方能正常写码。



PT1（内置下拉）	PT0（内置下拉）	模式及截取字段数
0	0	3字段模式：截取3字段，分别对应R、G、B
0	1	4字段模式：截取4字段，分别对应R、G、B、W
1	0	2字段模式：截取2字段，分别对应RG、BW
1	1	1字段模式：截取1字段，对应RGBW

VCC	24V	12V	5V
R_Z（Ω）	1.8 ~ 2.0k	650 ~ 800	51
R_I（Ω）	100	100	100
R_O（Ω）	100	100	100

电流值（mA）	R_{EXT}（Ω）
18	2416
20	2150
36	1083
60	550

控制器A端口输出电压	12V	5V
R_A（Ω）	30 ~ 50k	100 ~ 200
R_B（Ω）	30 ~ 50k	100 ~ 200

图 8-26　TM512AL 应用电路原理图

（2）写码完成后，收到新地址码的 IC 驱动蓝灯常亮。但此时新写入的地址码尚未生效，所有新写过码的 IC 仍使用原地址码，将 IC 断电后重新上电，新写入的地址码生效（实际应用时应把灯具和控制器都断电，控制器不断电易造成和控制器写码线直接连接的首个灯具被控制器通过写码线充电而无法完全断电，新写入地址码不生效）。

（3）写码完成后先不要将 AB 线取下，应用写码器自带的专用测试程序进行测试，以确认写码是否完全正确。

（4）写码器 PO 端口上的地址输入端线在写码完成后应从写码器上拔出，以免写码器失常时误写码。写码线拔出后悬空并用绝缘胶布包裹即可，无须专门接地。

7）差分总线连接注意事项

（1）控制器与 IC 之间以及 IC 与 IC 之间须共地，以防止过高的共模电压击穿 IC，可用屏蔽层做共地线可靠连接多个 IC 节点，并在一点可靠接地，不能双端或多端接地。

（2）PCB 上 AI 线和 BI 线至 IC 间串接的保护电阻须一致，并且 PCB 上 AI、BI 线从焊

盘至 IC 的走线方式须尽量一致。

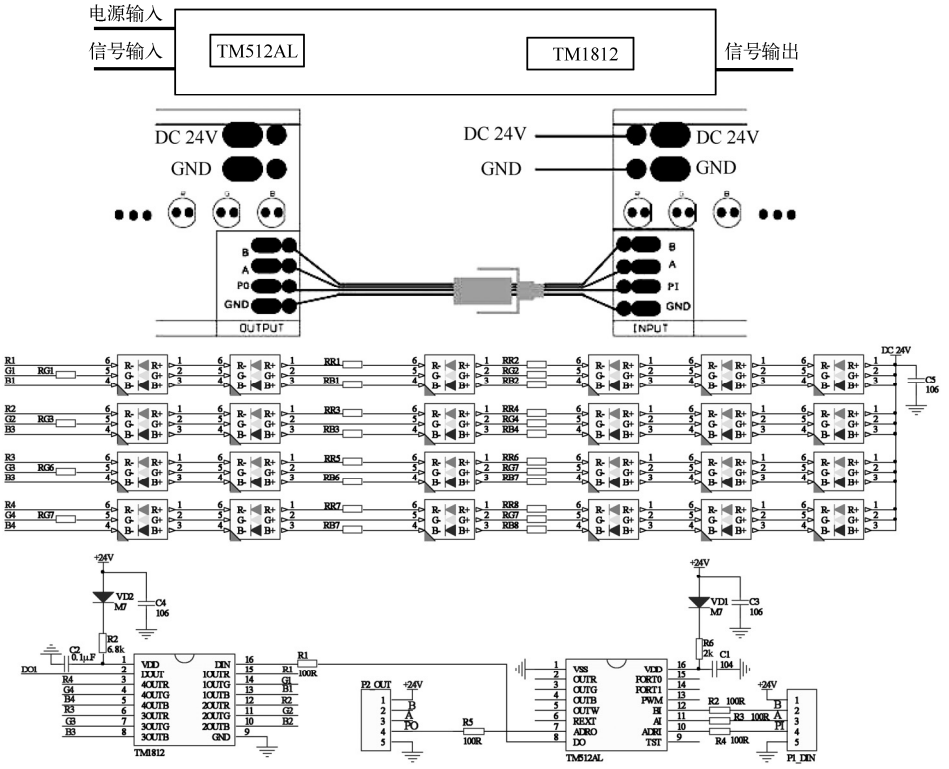


图 8-27　DMX LED 数码管电路原理图（0.5m）

（3）AI、BI 总线尽可能采用屏蔽双绞线（尤其在强电和弱电走线槽共用工程、发射塔附近或雷电较多的地区），以减少干扰及雷电冲击。用普通超 5 类屏蔽双绞线即可，但要注意购买铜线。

（4）485 总线中 485 节点要尽量减小与主干之间的距离，一般建议 485 总线采用手牵手的总线拓扑结构。星形结构会产生反射信号，影响 485 的通信质量。如果在施工过程中必须要求 485 节点离 485 总线主干的距离超过 30cm，则建议使用 485 中继器做出一个 485 总线的分叉。如果施工过程中要求使用星形拓扑结构，应使用 485 集线器。

（5）485 总线随着传输距离的延长，会产生回波反射信号，如果 485 总线的传输距离较长，建议施工时在 485 通信结束端处的 AI、BI 线上并接一个 120Ω的终端匹配电阻。

9．DMX LED 数码管的设计（UCS512A1+UCS2912）

1）UCS512A1 与 UCS2912 简介　UCS512A1 是 512 差分并联协议 LED 驱动芯片，可选择 1/2/3/4 通道高精度恒流输出，并带解码转发功能，可通过 DO 口转换成单线归零码信号，直接控制 UCS19 及 UCS29 系列 IC，可转发 192 个通道数据。UCS512A1 解码技术精准解码 DMX512 信号，可兼容并拓展 512 协议信号，UCS512A1 对传输速率在 200～500Kbps 以内的 DMX512 信号完全自适应解码，无须进行任何速度设置，寻址可达 4096

通道。UCS512A1 内置 E^2PROM，无须外接，同时支持在线写码，可通过地址写码线实现 100m（点间距）×1024（UCS512 级联点数）一次性在线写码。芯片提供 4 个耐压 24V 以上的可达 60mA 的高精度恒流输出通道，并且藉由 1 个外接电阻来设定电流的输出大小。UCS512A1 有 PWM 反极性降频输出功能，此功能适合外挂三极管、MOS 管或大电流恒流驱动 IC 的应用。高端口刷新率，大幅提高画面刷新率。UCS512A1 更可藉由将多组恒流输出接口短路以扩大电流驱动能力。它主要为建筑物装饰和舞台灯光效果 LED 照明系统而设计，适合于需要并接的 LED 照明系统，某一个芯片的异常完全不影响其他芯片的正常工作，维护简单方便。

2）UCS512A1 与 UCS2912 引脚图（见图 8-28）

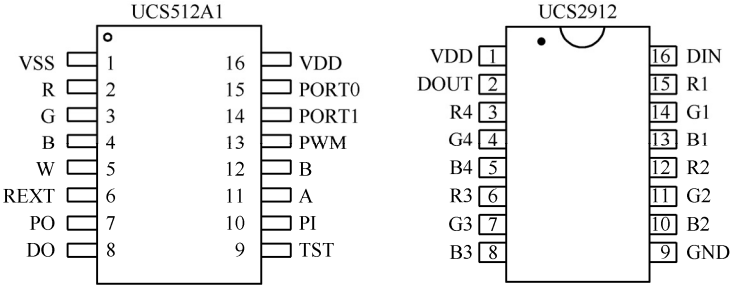


图 8-28　UCS512A1 与 UCS2912 引脚图

3）UCS512A1 与 UCS2912 引脚功能定义（见表 8-4）

表 8-4　引脚功能定义

（a）UCS512A1 引脚功能定义				
序号	引脚号	符号	输入/输出端口	说　明
1	1	VSS	逻辑地	电源负极
2	2	R	输出	Red PWM 控制输出
3	3	G	输出	Green PWM 控制输出
4	4	B	输出	Blue PWM 控制输出
5	5	W	输出	White PWM 控制输出
6	6	REXT	输入	恒流反馈端，对地接电阻调整输出电流大小
7	7	PO	输出	地址写码线输出
8	8	DO	输出	解码转发通道，可控制 UCS19/29 系列
9	9	TST	输入	测试脚，内置下拉
10	10	PI	输入	地址写码线输入，内置上拉
11	11	A	输入	差分信号，正
12	12	B	输入	差分信号，负
13	13	PWM	输入	输出极性选择，一般悬空，接 VDD 后输出极性相反，同时端口刷新频率降为 500Hz
14	14	PORT1	输入	字段选择，内置下拉
15	15	PORT0	输入	字段选择，内置下拉
16	16	VDD	逻辑电源	电源正极

续表

（b）UCS2912 引脚功能定义				
序号	引脚号	符号	输入/输出端口	说　明
1	1	VDD	电源	电源正极
2	2	DOUT	输出	显示数据级联输出（800K）
3	15	R1	输出	Red PWM 控制输出 1
4	14	G1	输出	Green PWM 控制输出 1
5	13	B1	输出	Blue PWM 控制输出 1
6	12	R2	输出	Red PWM 控制输出 2
7	11	G2	输出	Green PWM 控制输出 2
8	10	B2	输出	Blue PWM 控制输出 2
9	9	GND	电源	接地
10	8	B3	输出	Blue PWM 控制输出 3
11	7	G3	输出	Green PWM 控制输出 3
12	6	R3	输出	Red PWM 控制输出 3
13	5	B4	输出	Blue PWM 控制输出 4
14	4	G4	输出	Green PWM 控制输出 4
15	3	R4	输出	Red PWM 控制输出 4
16	16	DIN	输入	显示数据输入（800K）

4）UCS512A1 与 UCS2912 应用电路原理　UCS512A1 应用电路原理图如图 8-29 所示。

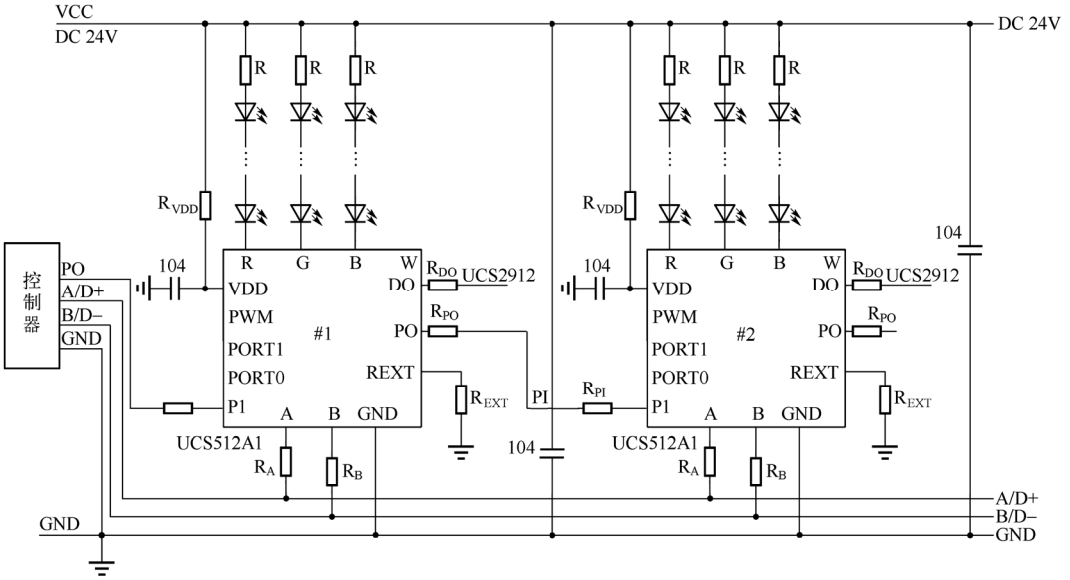
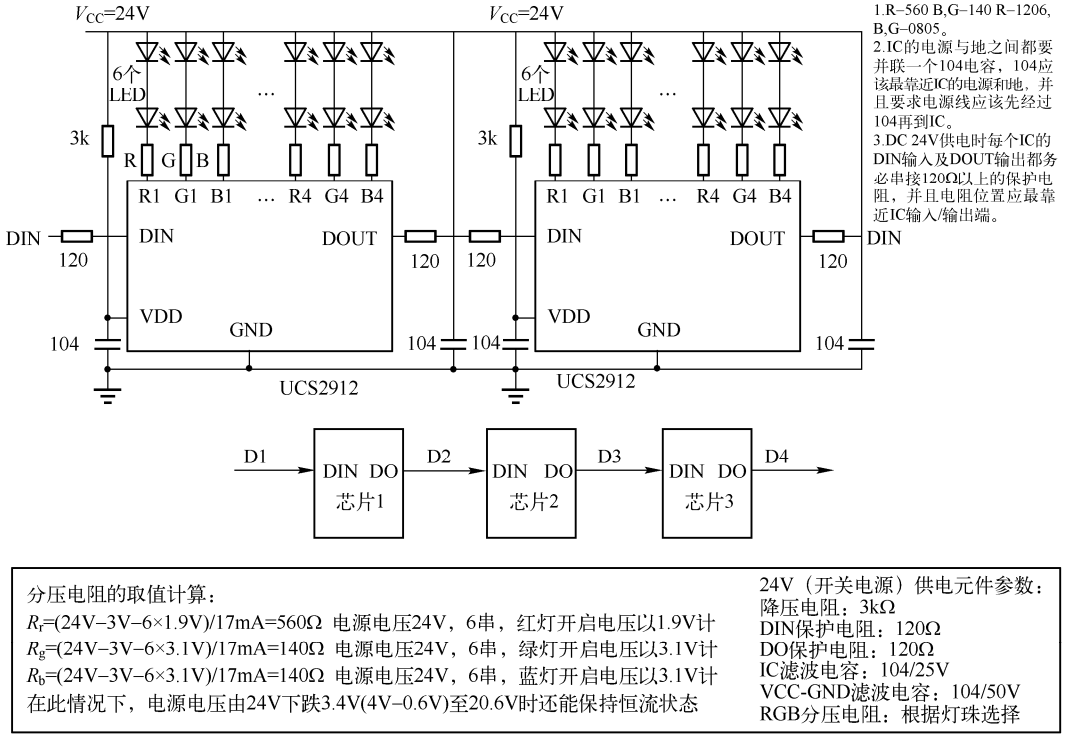


图 8-29　UCS512A1 应用电路原理图



☺ 输出高精度恒流，每通道最高可达 60mA，每通道最大并接 4 组灯（15mA/组）。
☺ 注意分压电阻 *R* 的选择，以免 IC 功耗过大。
☺ DO 端可输出驱动 UCS19 /29 系列 IC，如 1903、2903、1909/1912、2909/2912 等。
☺ 写码时，IC 需要保持 A 比 B 高的电平，建议将 AB 总线接在写码器的 AB 接线端上，由写码器提供 A 比 B 高的电平。
☺ REXT 端口必须加电阻到地来设置输出电流，此端口在非反极性应用情况下不能悬空。

UCS2912 采用单线通信方式，采用归零码的方式发送信号。芯片在上电复位以后，接收 DIN 端打来的数据，接收够 96b 数据后，DO 端口开始转发数据，供下一个芯片提供输入数据。在转发之前，DO 口一直拉低。此时芯片将不接收新的数据，芯片 OUTR、OUTG、OUTB 三个 PWM 输出口根据接收到的 96b 数据，发出相应的不同占空比的信号，该信号周期为 0.6ms 左右。如果 DIN 端输入信号为 RESET 信号，芯片将接收到的数据送显示，芯片将在该信号结束后重新接收新的数据，在接收完开始的 96b 数据后，通过 DO 口转发数据。芯片在没有接收到 RESET 码前，OUTR、OUTG、OUTB 引脚原输出保持不变；当接收到 24μs 以上低电平 RESET 码后，芯片将刚才接收到的 96b PWM 数据脉宽输出到 OUTR、OUTG、OUTB 引脚上。UCS2912 应用电路原理图如图 8-30 所示。



分压电阻的取值计算：
R_r=(24V–3V–6×1.9V)/17mA=560Ω 电源电压24V，6串，红灯开启电压以1.9V计
R_g=(24V–3V–6×3.1V)/17mA=140Ω 电源电压24V，6串，绿灯开启电压以3.1V计
R_b=(24V–3V–6×3.1V)/17mA=140Ω 电源电压24V，6串，蓝灯开启电压以3.1V计
在此情况下，电源电压由24V下跌3.4V(4V–0.6V)至20.6V时还能保持恒流状态

24V（开关电源）供电元件参数：
降压电阻：3kΩ
DIN保护电阻：120Ω
DO保护电阻：120Ω
IC滤波电容：104/25V
VCC-GND滤波电容：104/50V
RGB分压电阻：根据灯珠选择

图 8-30　UCS2912 应用电路原理图



DMX LED 数码管可以通过在 SMD5050 LED 光源上加上相应的透镜，达到 LED 洗墙灯的效果。角度分别有珠面 25°、30°、45°、50°，45×50° 光面、30×45 条纹、30×60 条纹等。直接卡在 LED 灯珠上，方便快捷，不晃动，与 PCB 零缝隙接触。可用于单色，也可用于混光光源，混光均匀，整体效果好。

5）DMX LED 数码管电路设计 以 UCS512A1 与 UCS2912 作为控制芯片，设计 1m 8 段 LED 数码管。LED 灯的数量 为 48 个（SMD3535、RGB），工作电压为 DC 24V，1m 8 段 LED 数码管由 1 个 UCS512A1 与两个 UCS2912 组成，DMX LED 数码管电路原理图（UCS512A1 与 UCS2912）如图 8-31 所示。



（1）0.5m 4 段 LED 数码管由 1 个 UCS512A1 与 1 个 UCS2912 及 24 个 SMD3535、RGB 组成，0.3m 2 段 LED 数码管由 1 个 UCS512A1 与 1 个 UCS2912 及 12 个 SMD3535、RGB 组成。

（2）1m 8 段 LED 数码管芯片在写码增量为 24，0.5m 4 段 LED 数码管芯片在写码增量为 12，0.3m 2 段 LED 数码管芯片在写码增量为 06，如果超过 100m 必须增加中继器（放大器）。

6）写码注意事项

（1）写码前应将写码器上的 A（D+）、B（D–）、PO、GND 4 个口用铜线牢固连接到灯具上并仔细检查。注意，写码时 AB 线也须接在写码器 AB 接线端上，写码器的 AB 接线端在写码时保持 A 高 B 低的电平，IC 须在 A 高 B 低的状态下方能正常写码。此为 IC 防误码专用功能之一。

（2）写码前先进行 RGB 全亮或整体同步跳变程序测试，以确认 AB 线是否存在问题，若此程序不正常，不要进行写码操作，先排查此问题后再写码。

（3）写码完成后，收到新地址码的 IC 驱动蓝灯常亮，此时新地址码已生效。

（4）写码完成后应用写码器自带的专用测试程序（一般为逐点跑或刷色）进行测试，以确认写码是否完全正确。

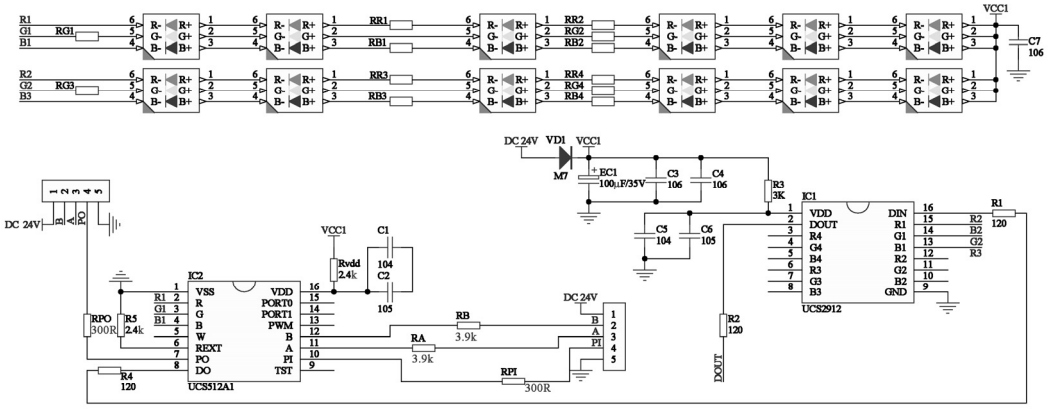
（5）不同段数的 LED 数码管要分别写码。

7）差分总线设计或连接注意事项

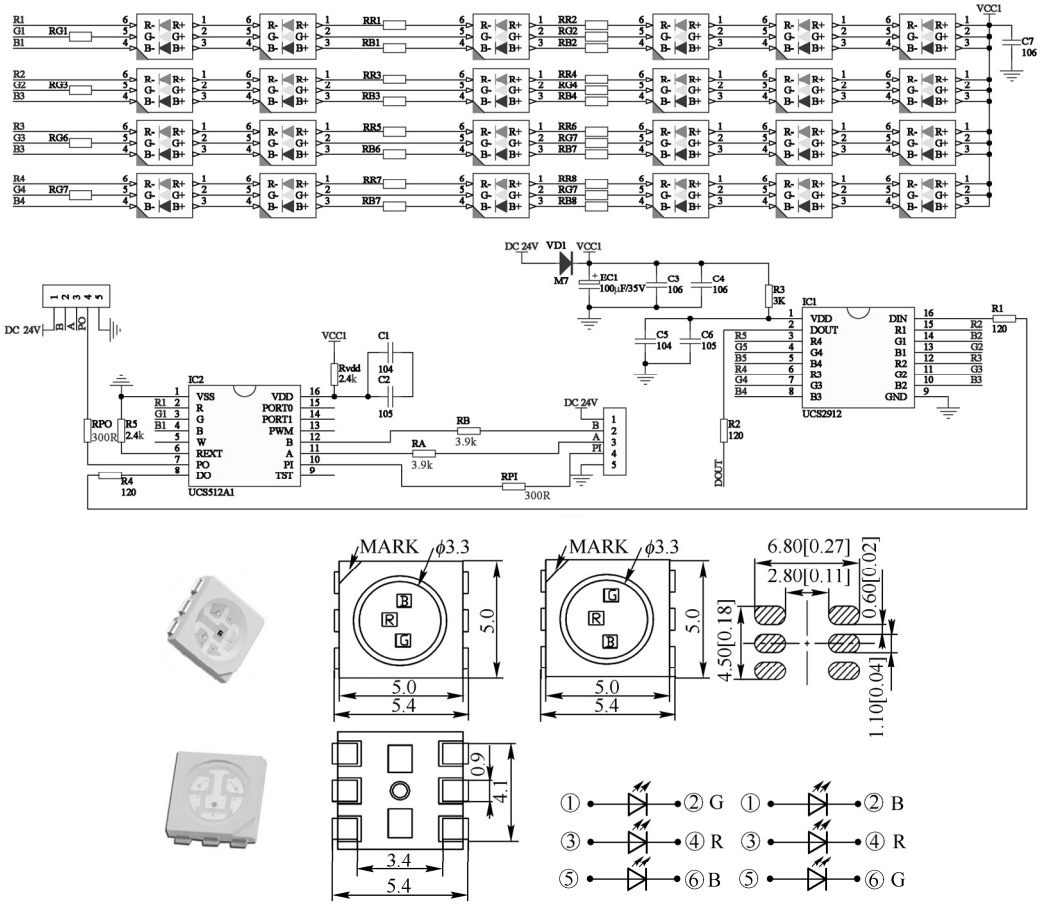
（1）控制器与 IC 之间以及 IC 与 IC 之间须共地，以防止过高的共模电压击穿 IC，可用屏蔽层做共地线可靠连接多个 IC 节点，可在一点可靠接大地，不能双端或多端接大地。

（2）板上 A 线和 B 线至 IC 间串接的保护电阻须一致，并且板上 AB 线从焊盘至 IC 的走线方式须尽量一致。

（3）AB 总线尽可能采用屏蔽双绞线（尤其在强电和弱电走线槽共用工程、发射塔附近或雷电较多的地区），以减少干扰及雷电冲击。

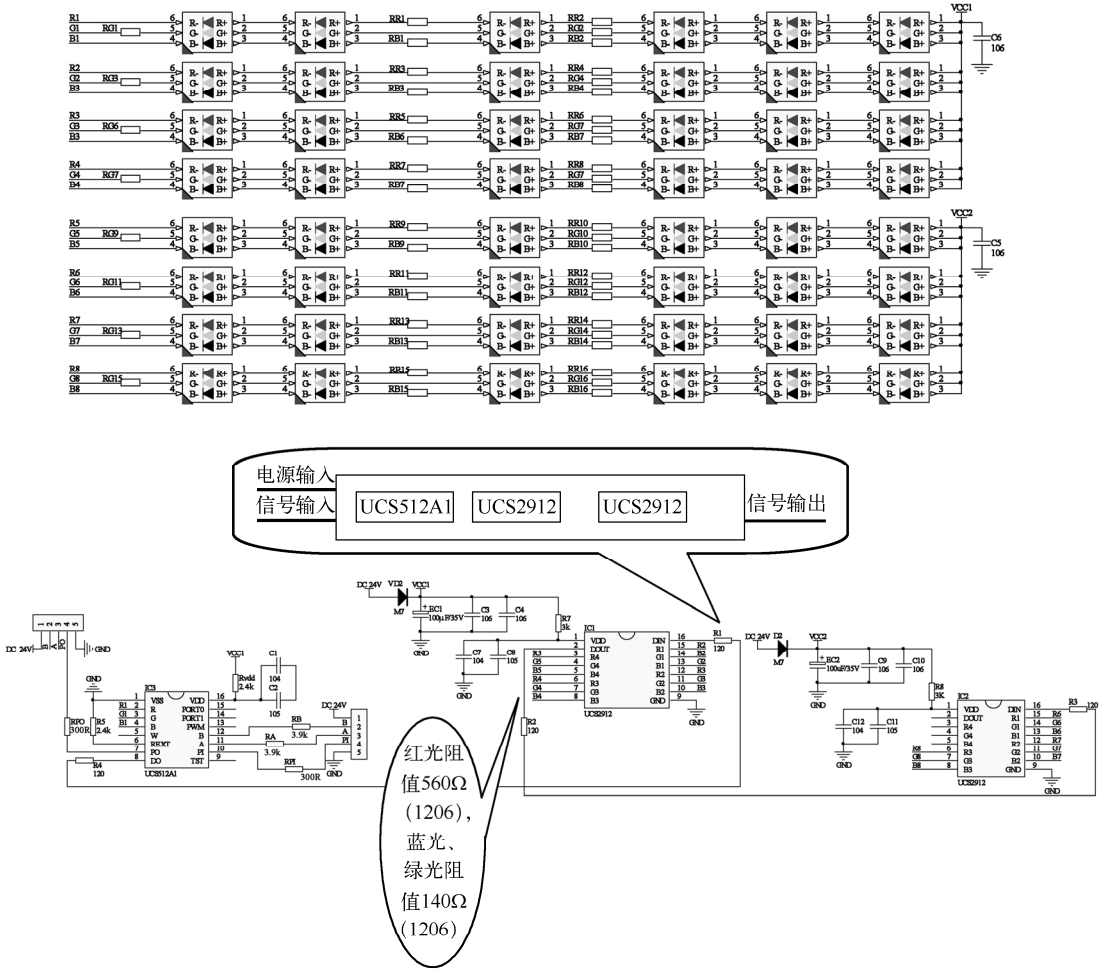


（a）0.3m DMX LED数码管电路原理图



（b）0.5m DMX LED数码管电路原理图

图 8-31　DMX LED 数码管电路原理图（UCS512A1 与 UCS2912）



（c）1m DMX LED数码管电路原理图

图 8-31　DMX LED 数码管电路原理图（UCS512A1 与 UCS2912）（续）

（4）用普通超 5 类屏蔽双绞线即可，但要注意购买铜线。

（5）485 总线中 485 节点要尽量减小与主干之间的距离，一般建议 485 总线采用手牵手的总线拓扑结构。星形结构会产生反射信号，影响 485 通信质量。

（6）如果在施工过程中必须要求 485 节点离 485 总线主干的距离超过 30cm，则建议使用 485 中继器做出一个 485 总线的分叉。

（7）如果施工过程中要求使用星形拓扑结构，应使用 485 集线器。

（8）485 总线随着传输距离的延长，会产生回波反射信号，如果 485 总线的传输距离较长，建议施工时在 485 通信结束端处的 AB 线上并接一个 120Ω的终端匹配电阻。

8）UCS2912 应用注意事项

（1）在 UCS2912 级联应用时，只有芯片 UCS2912 之间有效共地才能保证信号正常

传输。

（2）若采用单 4 芯头连接，务必注意 4 芯头中 AB 总线和数据线 D、信号地都在一个接头里，要避免防水头密封不良漏水（或安装时未插紧）或防水头非对位强行接插，否则可能会烧毁 IC。

（3）芯片 UCS2912 DC 24V 供电时每个 UCS2912 的 DIN 输入及 DOUT 输出都务必串接 120Ω以上的保护电阻，并且电阻位置应最靠近 UCS2912 输入/输出端。

（4）芯片 UCS2912 DC 12V 供电时信号输入/输出端务必各串接 51Ω以上的电阻。

（5）UCS2912 在 DC 24V 供电时，要求供电端（DC 24V）及 VDD 端之间务必要串接一个电阻，建议阻值 3kΩ，功率 1/4W。DC 12V 供电时，建议阻值 1kΩ，功率 1/4W。

（6）UCS2912 在画板时要注意信号地（GND）线，地线应尽量画粗，过细的地线可能会引起信号传输不稳定，出现抖动等非正常现象。

（7）在板上布线时，可能产生较高电压的走线（如 24V 电源线、LED 之间的连线等）应远离信号线（DIN、DOUT）及 5V 线，以免因制板工艺问题造成暗连线时烧毁 UCS2912。

（8）为减少高频干扰，每个 UCS2912 的电源与地之间都要并联一个 104 电容，104 电容应该最靠近 UCS2912 的电源和地，且要求电源线应该先经过 104 电容再到 UCS2912。

（9）UCS2912 是恒流输出，RGB 输出端上串联的分压电阻选用时要注意。恒流输出 UCS2912 选用分压电阻和恒压输出 UCS1912 选用限流电阻的方式完全不同。选值不当可能损坏 UCS2912。



☺ SMD5050 封装 3 颗芯片，有红、绿、蓝、白、RGB 等。SMD5050 RGB 引脚有 G（绿光）、R（红光）、B（蓝光）或 B（蓝光）、R（红光）、G（绿光）两种。

☺ SMD5050 RGB 引脚有 G、R、B 或 B、R、G，其引脚要与 DMX512 及驱动芯片一一对应，如果发现其 RGB 引脚与 DMX512 及驱动芯片不一致，可以修改控制器中的程序实现。

10. DMX LED 数码管供电、控制接线示意图

DMX LED 数码管供电、控制接线示意图如图 8-32 所示。



☺ 写码前先进行 RGB 全亮或整体同步跳变程序测试，以确认 AB 线是否存在问题，若此程序不正常，不要进行写码操作，先排查此问题后再写码。

☺ 写码完成后，收到新地址码的 IC 驱动蓝灯常亮，此时新地址码已生效。

☺ 写码完成后应用写码器自带的专用测试程序（一般为逐点跑或刷色）进行测试，以确认写码是否完全正确。

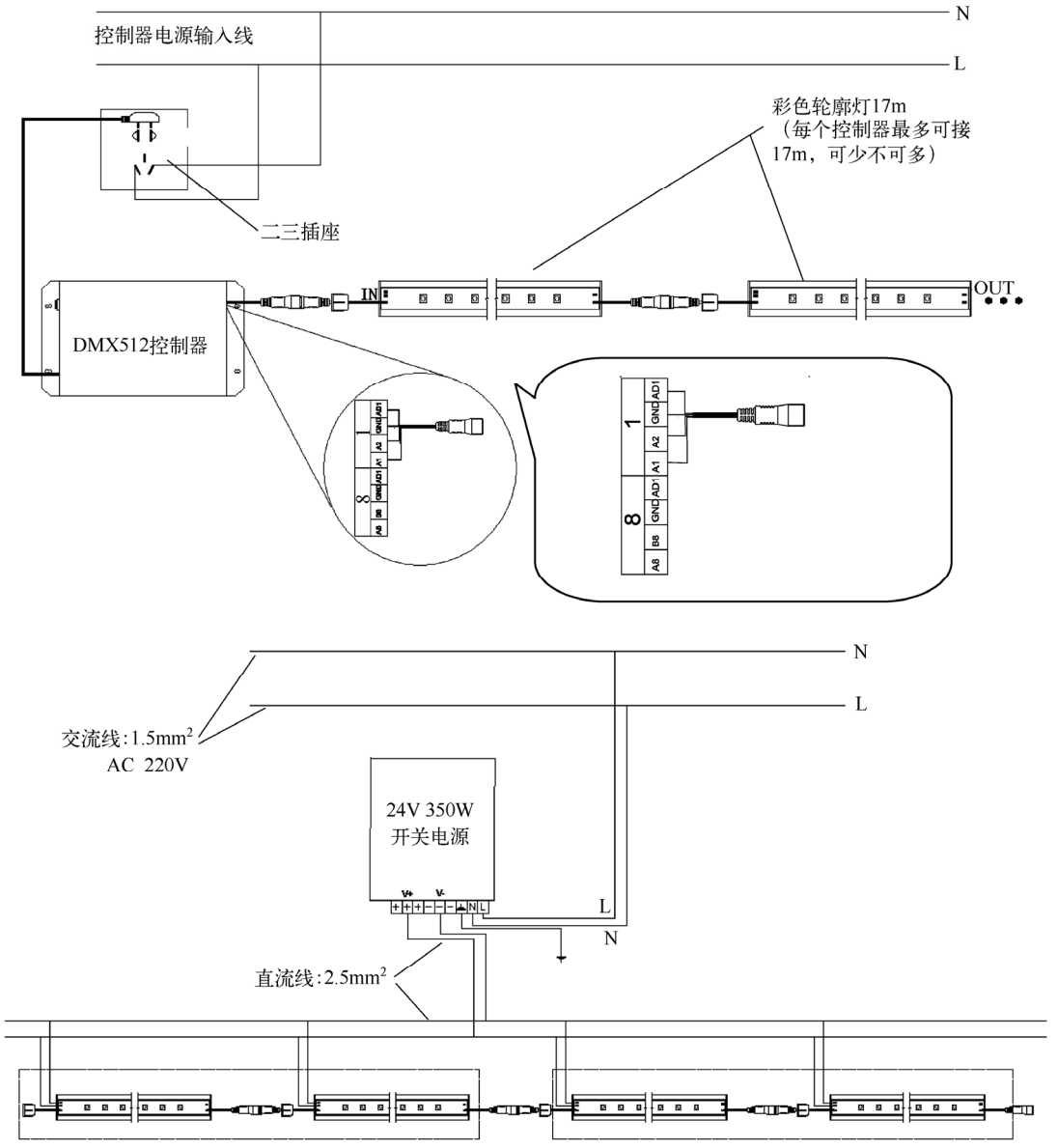


图 8-32　DMX LED 数码管供电、控制接线示意图

8.7　LED 点光源的设计与组装

LED 点光源是指以 LED 作为发光体的点光源，目前有黄、绿、红、橙、蓝、紫、青蓝、白、全彩等多种颜色，可以制成长方形、圆形等各种形状。LED 点光源内置微电

脑芯片，可任意编程控制，多个同步变化，单色变化也可以实现同步七彩渐变、跳变、扫描、流水灯全彩变化效果及多个 LED 点光源组成点阵屏。LED 点光源是楼体、桥梁轮廓、酒店、广告牌、幕墙和夜场灯光照明的理想装饰品。LED 点光源的外形如图 8-33 所示。

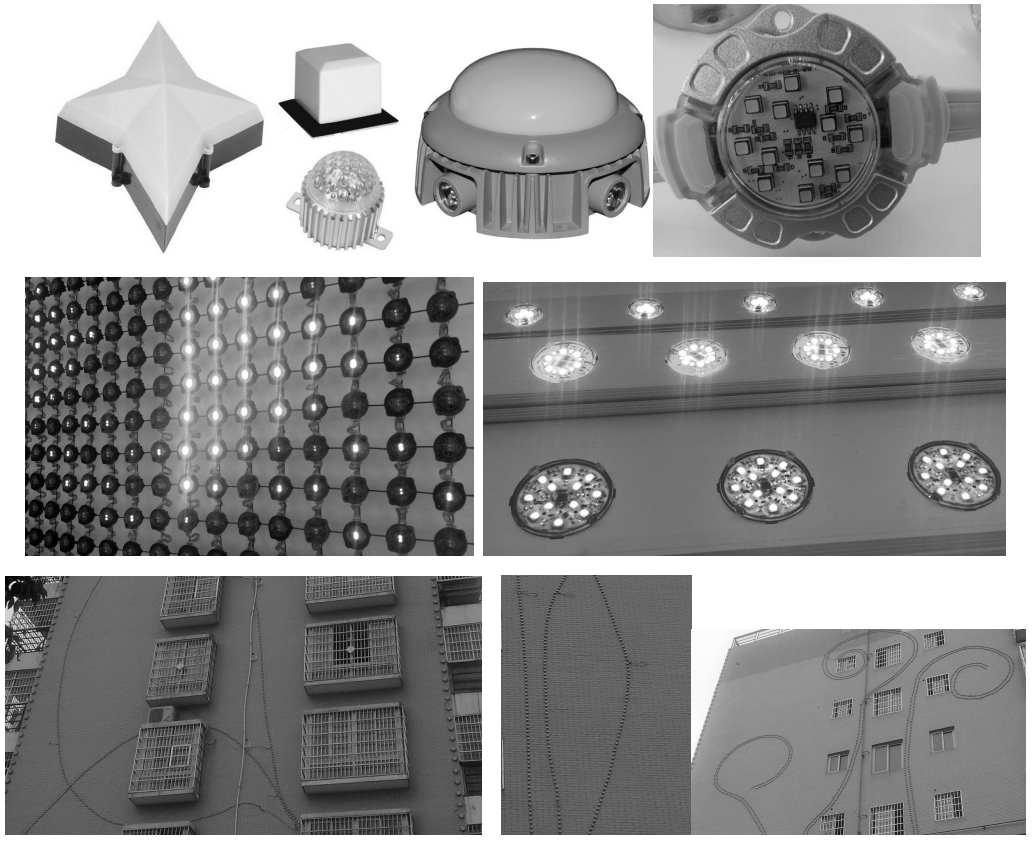


图 8-33　LED 点光源的外形

1）UCS512A2 简介　UCS512A2 是 512 差分并联协议 LED 驱动芯片，可选择 1/2/3/4 通道高精度恒流输出，UCS512A2 解码技术精准解码 DMX512 信号，可兼容并拓展 512 协议信号，UCS512A2 对传输速率在 200～500Kbps 以内的 DMX512 信号完全自适应解码，无须进行任何速度设置，寻址可达 4096 通道。UCS512A2 内置 E^2PROM，无须外接，同时支持在线写码，可通过地址写码线实现 100m（点间距）×1024（UCS512A2 级联点数）一次性在线写码。芯片提供 4 个耐压 26V 以上的可达 60mA 的高精度恒流输出通道，并且藉由 1 个外接电阻来设定电流的输出大小。高端口刷新率，大幅提高画面刷新率。UCS512A2 有 PWM 反极性降频输出功能，此功能适合外挂三极管、MOS 管或大电流恒流驱动 IC。UCS512A2 更可藉由将多组恒流输出接口短路以扩大电流驱动能力。它主要为建筑物装饰和舞台灯光效果 LED 照明系统而设计，适合于需要并接的 LED 照明系统，某一个芯片的异常完全不影响其他芯片的正常工作，维护简单方便。

2）UCS512A2 引脚图（见图 8-34）

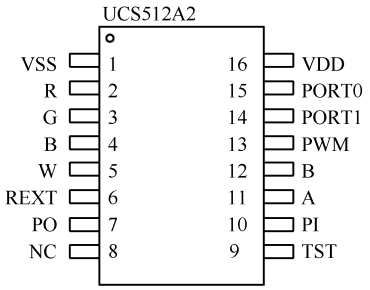


图 8-34　UCS512A2 引脚图

3）UCS512A2 引脚功能定义（见表 8-5）

表 8-5　引脚功能定义

序号	引脚号	符号	输入/输出端口	说　　明
1	1	VSS	逻辑地	电源负极
2	2	R	输出	Red PWM 控制输出
3	3	G	输出	Green PWM 控制输出
4	4	B	输出	Blue PWM 控制输出
5	5	W	输出	White PWM 控制输出
6	6	REXT	输入	恒流反馈端，对地接电阻调整输出电流大小
7	7	PO	输出	地址写码线输出
8	8	NC	NC	空脚
9	9	TST	输入	测试脚，内置下拉
10	10	PI	输入	地址写码线输入，内置上拉
11	11	A	输入	差分信号，正
12	12	B	输入	差分信号，负
13	13	PWM	输入	输出极性选择，一般悬空，接 VDD 后输出极性相反，同时端口刷新频率降为 800Hz
14	14	PORT1	输入	字段选择，内置下拉
15	15	PORT0	输入	字段选择，内置下拉
16	16	VDD	逻辑电源	电源正极

4）UCS512A2 应用电路原理　UCS512A2 应用电路原理图如图 8-35 所示。

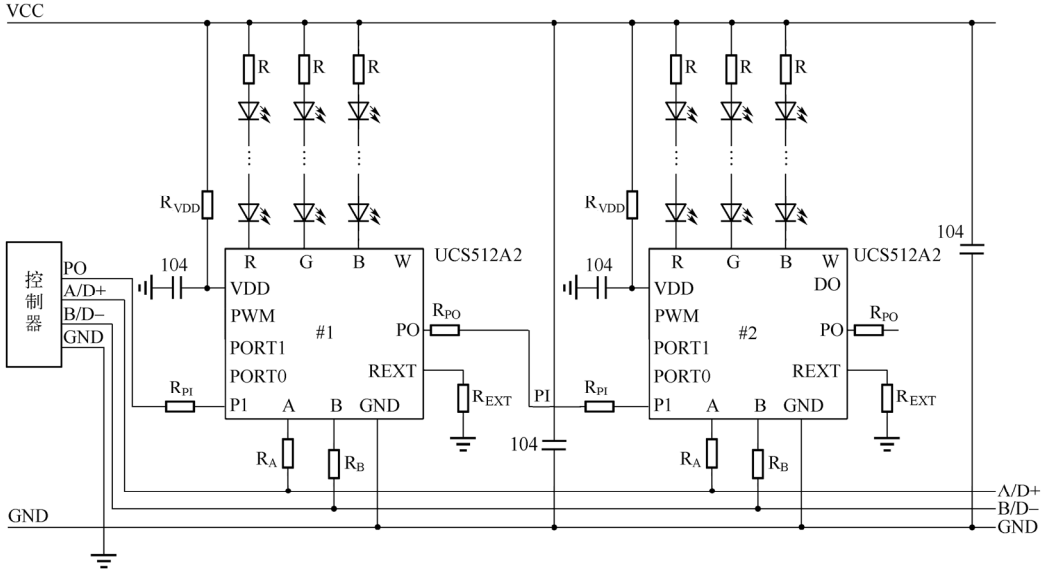


☺ 输出高精度恒流，每通道最高可达 60mA，每通道最大并接 4 组灯（15mA/组）。

☺ 注意分压电阻 *R* 的选择，以免 IC 功耗过大。

☺ 写码时，IC 需要保持 A 比 B 高的电平，建议将 AB 总线接在写码器的 AB 接线端上，由写码器提供 A 比 B 高的电平。

☺ REXT 端口必须加电阻到地来设置输出电流，此端口在非反极性应用情况下不能悬空。



元件	24V	12V	5V
R_{VDD}(Ω)	2~2.4k	750~820	82
R_{PI}(Ω)	300~500	300~500	
R_{PO}(Ω)	300~500	300~500	
R_A(Ω)	1~5k	1~5k	1~5k
R_B(Ω)	1~5k	1~5k	1~5k

I=48/(400+R_{EXT})　（1）
R_{EXT}=(48/I)–400　（2）
34mA的电流，使用（2）式，
R_{EXT}=(48/0.034)–400，最终得到R_{EXT}=1011Ω。

17mA的电流，使用（2）式，
R_{EXT}=(48/0.017)–400，最终得到R_{EXT}=2423Ω。

PT1	PT0	模式及截取字段数
0	0	3字段模式：截取3字段，分别对应R、G、B
0	1	4字段模式：截取4字段，分别对应R、G、B、W
1	0	2字段模式：截取2字段，分别对应RG、BW
1	1	1字段模式：截取1字段，对应RGBW

分压电阻最小值：24V供电，RGB输出，各6串，恒流设定20mA，V_{ds}取5V
红灯　　R>(24V–6×V_R–5V)/20mA=(24V–6×2V–5V)/20mA=350Ω
绿、蓝灯　　R>(24V–6×V_R–5V)/20mA=(24V–6×3V–5V)/20mA=50Ω

	3通道输出（mA）			4通道输出（mA）		
	20	40	60	20	40	60
V_{ds}（V）	5	2.5	1.7	4	2	1.3

图 8-35　UCS512A2 应用电路原理图

5）DMX LED 点光源电路设计 以 UCS512A2 作为控制芯片，设计 LED 点光源。LED 灯的数量为 12 个（SMD3535、RGB），工作电压为 DC 24V，DMX LED 点光源示意图如图 8-36 所示。

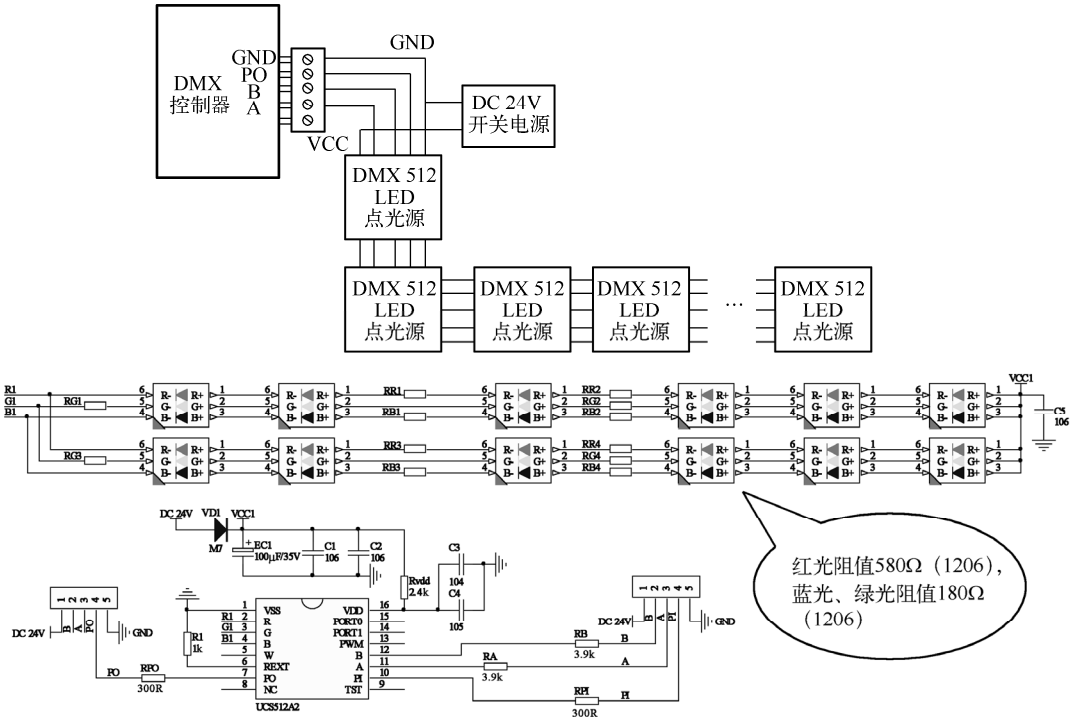


图 8-36 DMX LED 点光源示意图



（1）芯片在写码成功时并不是马上生效，而是需要将 IC 断电后重新上电地址码才能生效，实际应用时在芯片重新上电中应把灯具和控制器都断电，若控制器不断电易造成和控制器写码线直接连接的首灯具被控制器通过写码线充电而无法完全断电，新写入地址码不生效。

（2）芯片在写码增量为 03，如果超过 100m 必须要增加中继器（放大器）。

6）DMX LED 点对点模组的电路设计 DMX LED 点对点模组的电路原理图如图 8-37 所示。

7）DMX LED 点光源供电、控制接线示意图 DMX LED 点光源供电、控制接线示意图如图 8-38 所示。

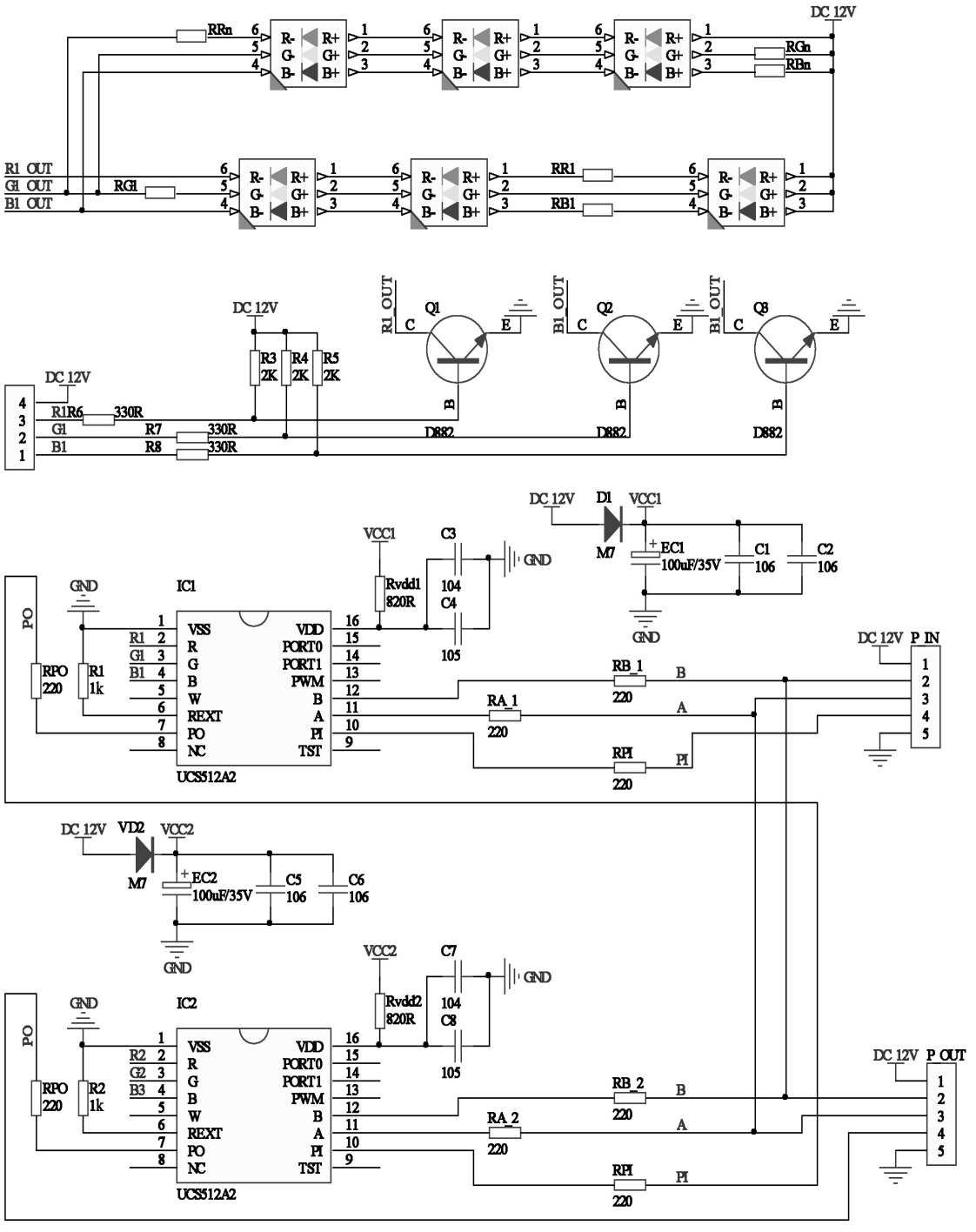


图 8-37　DMX LED 点对点模组的电路原理图

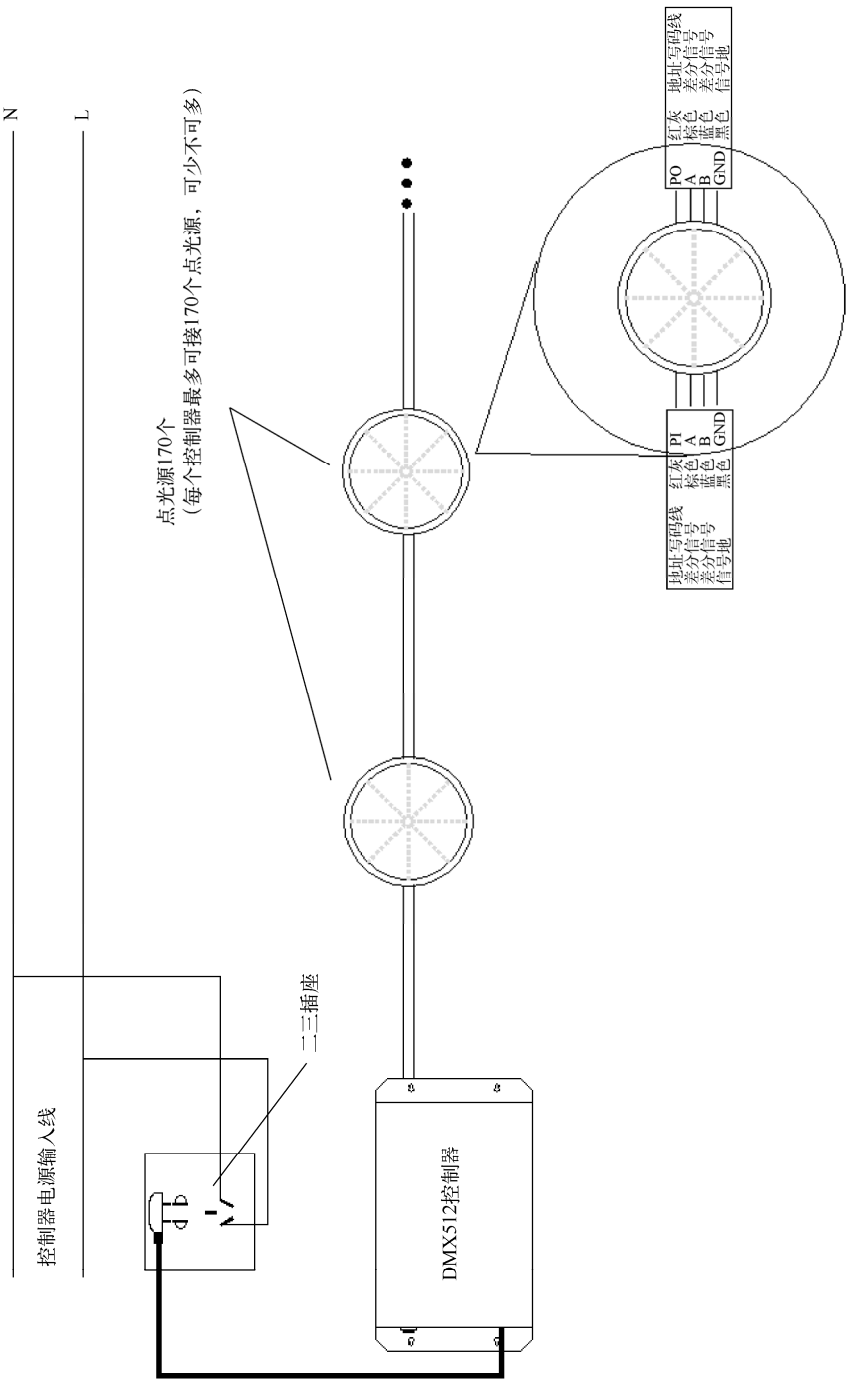


图8-38　DMX LED点光源供电、控制接线示意图

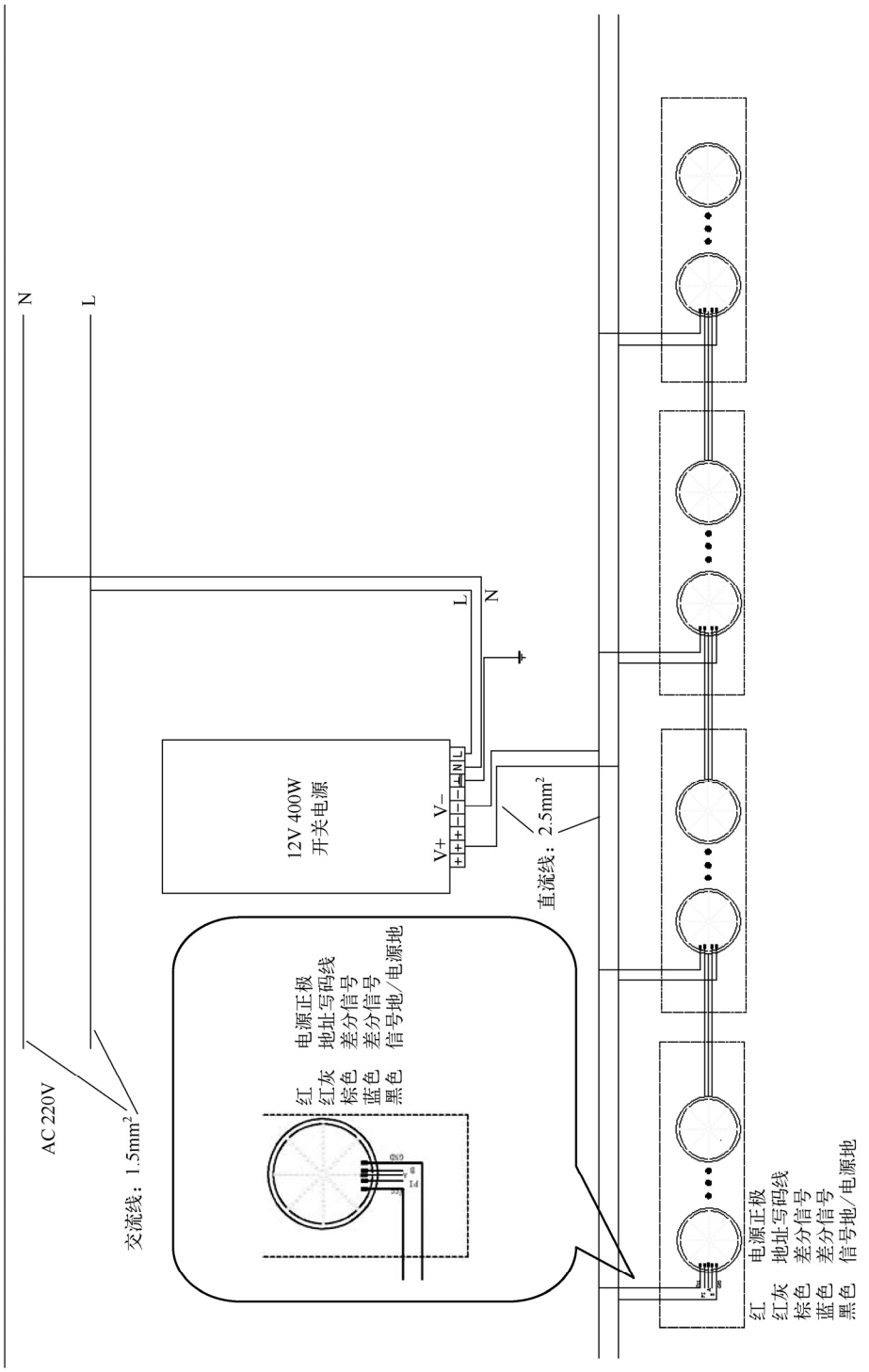


图8-38 DMX LED点光源供电、控制接线示意图（续）

LED 照明设计与应用（第3版）

第9章

广告类 LED 照明灯具的设计与组装

9.1 LED 广告灯箱的设计与组装

传统灯箱一般用灯片，材料是 PC，温度范围为−45～145℃。其内部一般用荧光灯管。灯箱可分为超薄灯箱、滚动灯箱、吸塑灯箱、动感灯箱、镜面感应灯箱、节能灯箱、灯杆灯箱等。

1．灯箱的结构

灯箱包括以下结构。

（1）框架及面罩。大型灯箱的主要构件为钢、塑结构，底座及边框采用钢或不锈钢结构焊接而成，图案外罩采用玻璃板、有机玻璃板、灯箱布等。小型门头、杆式、悬挂式灯箱主要构件为钢或注塑框架，图案外罩多采用玻璃、有机玻璃或透明塑料板。

（2）图案印刷载体。灯箱的印刷载体按其结构及制作工艺，可采用合成纸、喷绘胶片、自粘性背胶胶片、灯箱画布等材料。

（3）辅助光设施。灯箱的辅助光（俗称打光）依据其图案画面的结构、承印材料、印刷墨层厚度、图案幅面等进行打光设计，画面质量及均匀性、柔和度高。灯箱实物如图 9-1 所示。



图 9-1　灯箱实物

2．超薄灯箱

1）超薄灯箱的定义　超薄灯箱的厚度为 2～13cm，可分为 EEFL 绿色节能超薄灯箱和导光板超薄灯箱两大类。

2）超薄灯箱的特点

☺ 节能：比同等面积的传统灯箱使用更少的光源，省电达 80%以上。

☺ 环保：95%以上材料可再回收利用。

☺ 超薄：仅为传统灯箱厚度的四分之一，经济美观。

☺ 方便：安装及更换灯片容易、快捷。
☺ 匀光：光线均匀，完全平面光线输出。
☺ 美观：先进的导光设计，确保灯片不受灯管产生的热量而黄化。

3）超薄灯箱的安全须知 在安装或者维修超薄灯箱时，必须注意导光板不要被损坏。应该遵从以下的操作规范。

☺ 在制作及运输导光板的过程中，应谨慎小心以免导光板碎裂。如果需要长期存放导光板，则应将其放置在干燥、平整、整洁的地方。
☺ 如果有手印或灰尘黏附在导光板表面，清洗导光板时，应使用柔软的纺织品蘸湿后轻轻擦拭，且要穿戴棉制手套，以防在导光板表面留下任何手印及刮伤痕迹。
☺ 在去除导光板表面的保护膜时，请勿使用锋利的器具。
☺ 导光板在安装过程中需轻拿轻放，注意安全。

3．LED 灯箱的制作

LED 灯箱采用宽广视角的高亮度 LED 为光源，以各地都能购买到的装潢材料为箱体，只需简单的制作工具（如电烙铁、手电钻、冲击电钻、热熔胶枪等），制作速度快，工艺简单。LED 灯箱的颜色醒目，白天、夜晚效果都很好，是今后几年很有发展潜力的户外广告品。

1）灯箱制作材料

☺ 外框：一般用铝合金型材制作。
☺ 光源：高亮度 LED。
☺ 面板：铝合金板或 PVC 板。
☺ 支架：一般用铝合金支架。
☺ 控制器：单路、多路等。
☺ 固定用螺钉、电工胶布。

2）制作工具

☺ 电动工具：手电钻（ϕ5mm 的钻头）、冲击电钻或电锤（安装在外面或上门安装时使用）。
☺ 旋具：十字旋具、一字旋具。
☺ 电烙铁（30W 或 40W）、焊锡、螺丝刀、尖嘴钳、小剪刀、热熔胶枪。
☺ 量具：5m 卷尺、直尺。
☺ 记号笔（用于做记号）、试电笔（用于安装时测试电）或者万用表。

3）底板尺寸的计算方法

（1）模具横向或竖向分割成若干块的算法。

☺ 用总长度减掉底板两侧的留边尺寸等于模具的总长度。
☺ 用剩下要制作模具的总长度除以等份分割的块数等于要制作底板模具的尺寸①。
☺ 用总宽度减掉底板两侧的留边尺寸等于要制作底板模具的尺寸。
☺ 把尺寸①减掉 5cm，作为两块底板拼接时缝隙的损耗。
☺ 最后的总尺寸，由成形的多块 PC 底板拼接在一起后，由底板的两侧决定。

（2）模具模、竖向均全部分割成若干块的算法。

☺ 用总长度减掉底板两侧的留边尺寸等于剩下要制作模具的总长度。

☺ 用剩下要制作模具的总长度除以等份分割的块数等于要制作底板模具的尺寸②。

☺ 用总宽度减掉底板两侧的留边尺寸等于剩下要制作底板模具的总宽度。

☺ 用剩下要制作模具的总宽度除以等份分割的块数等于要制作底板模具的尺寸③。

☺ 把②和③算出的尺寸分别减掉5cm，是两块底板拼接时缝隙的损耗。

☺ 最后的总尺寸，由成形的多块PC底板拼接在一起后，由底板的两侧决定。

4）成形尺寸 成形后底板的留边尺寸为2～3cm。成形后的字，在不同情况下的留边尺寸有以下3种情况。

☺ 字与底板拼接时，留3cm左右的边。

☺ 字单独做箱体时，留1cm左右的边。

☺ 字压制后需要人工再围3～5cm的边，字的留边尺寸为5cm左右。

5）灯箱制作步骤

☺ 在板上做出需要的字样或者图案。

☺ 用手电钻或者雕刻机打出与LED直径大小一样的孔。

☺ 每个字或图案里的LED灯为串联。

☺ 字与字或图案与图案之间的LED灯一般为并联。

☺ 所有的LED灯连接好以后，一般要用胶枪把它们固定密封，以防脱焊和进水。注意LED任意两引脚一定不要短路。

☺ 根据所需连接控制器不同的线，展示不同的闪烁效果。

6）箱体质量检查 文字要主次分明，颜色要搭配合适，充分利用色彩的对比，反差要大，色彩上要求鲜明、醒目。字体尽量要大，颜色的对比使字体也不会显得拥挤，而且充分利用面板。

近年来，流行的灯箱底色为红色、黄色。若灯箱面板上有实物图片，造型一定要好看，起到画龙点睛的作用，一目了然。否则，会破坏灯箱的整体形象，起到相反的作用。检查灯箱的整体外观，不仅要看是否方正，边角、边的接缝如何，最大的质量标准在于字体的排列是否好看、方正。在装配之前一定多检查几遍。

7）LED或LED模块数量的计算 LED与LED的间距标准为8cm×8cm，同时也采用8cm×10cm或10cm×10cm的间距。

下面以1.5m×0.5m的4个字的灯箱为例来计算LED的数量。在做灯箱前要在板上做出设计的字样或者图案，用手电钻或雕刻机打出与LED直径大小一样的孔。

☺ 35cm×35cm的字要用100PCS LED，4个字的就是400PCS LED。

☺ 灯箱外围的跑马灯40PCS/m，灯箱一周大约有4m，总共要用100PCS的LED。

☺ 字和跑马灯总共要600PCS LED，要考虑产品因素和施工时人为损坏等因素。

8）LED的选用和安装 LED质量直接影响灯箱的亮度，因此LED灯箱应选用高亮或者超高亮LED，发光角度为30°～45°。LED工作时，每个回路电流控制在15～20mA。所以每组回路要多大功率的电阻和电阻值，可以通过计算算出，如表9-1所示。

表 9-1　电阻阻值与 LED 灯个数之间的关系

红光个数	串联电阻值（kΩ）	蓝光个数	串联电阻值（kΩ）	绿光个数	串联电阻值（kΩ）
25～35	9	27～31	5.5	30～35	5.5
36～45	8	32～36	5	36～40	5
46～55	7	37～40	4.5	41～45	4.5
56～65	6	41～44	4	46～50	4
66～75	5	45～48	3.5	51～55	3.5
76～85	4	49～53	3	56～60	3
86～95	3	54～58	2.5	61～65	2.5
96～105	2	59～63	2	66～70	2
106～115	1	64～68	1.5	71～75	1.5
120 以上	※	69～73	1	76～80	1
		74 以上	※	80～85	※

备注：表中加“※”号的不推荐选用，当串联亮管个数接近或超过带“※”号的个数时，易引起电路不稳定，宜分作两组串联亮管或更多组串联亮管，然后再把各组串联亮管并联连接为一组



（1）红光组字上限为 96～105 个，蓝光组字上限为 59～63 个，绿光组字上限为 66～70 个。

（2）电阻用 2W、1～2kΩ水泥电阻或 4W、1～2kΩ水泥电阻。

（3）计算：电阻值=（220－单组灯管数×单只灯管工作电压）÷18(kΩ)。

（4）当串入各组串联亮管中后，电阻无正负极之分，电阻一端接各组串联亮管中的引出极“－”（负）极，另一端接到亮管控制器的负极。

（5）与所搭配的串联电阻关系如下：一般红光工作电压 1.8～2V，绿色的亮管工作电压 3.2～3.4V，蓝色的亮管工作电压 3.4～3.6V，工作电流是 0.018～0.03A，消耗功率小于 0.1W。

一般情况下，都是根据电源的功率来定 LED 的个数。

（1）对于恒压驱动方式：由已知的输出电源电压计算每支路串联 LED 数量及并联支路数。

☺ 由电源功率计算 LED 的数量（即取所得数据的整数）

$$N=P_{\text{电源功率}}/P_{\text{LED 的功率}} \tag{9-1}$$

LED 功率是指 LED 的耗散功率。

☺ 计算每条支路的 LED 个数

$$N_1=V_{\text{电源}}/V_{\text{LED}} \tag{9-2}$$

LED 个数取整数，而且要取最大值。

☺ 计算并联支路数

$$N_2=N/N_1 \tag{9-3}$$

支路数取整数。V_{LED} 值依不同发光颜色各有不同，用稳压电源驱动 LED 时，为了控制电流，通常需要串联电阻器。

（2）对于恒流驱动方式：由已知的电源输出电流及 LED 的电流值计算出并联支路数及每支路数量。

☺ 计算并联的支路数（取所得数据的整数，是取最小值）

$$N_3=I_{电源}/I_{LED} \tag{9-4}$$

☺ 计算支路串接 LED 个数

$$N_4=N/N_3 \tag{9-5}$$

LED 个数取整数。其中 N 按式（9-1）计算。

在箱底选好位置后，把 LED 先用 502 胶水或 3 秒胶粘好，之后用玻璃胶或快干胶打在 LED 两侧即可。如果选用双面胶粘贴安装方式，则要注意保证表面干净、干燥，无油污。在安装前打磨安装表面以粘贴牢靠。如果采用模块粘贴安装，则在粘贴排列完成后，再在适当位置用塑料胶或各加一个螺钉加固，确保安装牢靠。

9）注意事项和质量防治

（1）注意事项。

☺ 做灯箱或粘贴字时，一定要分清楚哪一边靠墙体，在靠墙体一边的下侧引出电线，要注意防水，出线在两侧时会影响美观。

☺ 粘贴字时，有机胶水、瓶、盖不要放在有机板面上，否则瓶、盖上流下来的胶水会把板面搞脏。操作时，笔或针管不要蘸满胶水，以防滴在板面上影响美观。粘好后，一般盖上一张报纸起保护作用。

（2）质量防治。

☺ 质量通病：成品完成之后，发现字体显小，主要原因是设计时按照 1:10 小样定字的大小，放大后，字的间隔也大了。因此，在设计字形时，一定要考虑间距问题。字体的笔画粘贴方不方正，字体锯得直不直、平不平，或是否有上坡、下坡现象。同时也要加强美术字的研究与熟练操作技术。

☺ 防治方法：在操作前，不要急于求成，要仔细研究设计稿件，按照 1:1 比例进行设计。



☺ 室内的 LED 灯箱采用卷帘式拉布灯条，工作电压 DC 12/24V 属于安全电压，可应用于各种场合，对人身没有任何危险性。

☺ LED 穿孔灯广告灯箱采用 IP68 LED 灯串，采用 LED 专用恒压供电方式。用电钻钻孔（ϕ5mm、ϕ9mm、ϕ12mm），直接安装到字孔里就可以固定。

☺ LED 灯串供电电压为 DC 5V，电源引出的电线截面积不能低于 4mm^2。一般 LED 中心间距为 10～30mm，间距越小，亮度越高，成本越高。

☺ LED 外露发光字灯串也有红、黄、蓝、绿、白、七彩等，充分发挥 LED 点光源优势，任意组合，让 LED 户外发光字、大型户外 LED 广告招牌、LED 电子灯箱制作简单。

☺ LED 全彩外露灯串结合 IC，使用智能化控制系统，可产生渐变、跳变、追逐、扫描、显示动漫图文等效果。
☺ 一般红色线头接到开关电源的正极，黑色线头接到 LED 开关电源的负极，开关电源最好放置在防水电源箱中。
☺ 户外发光字一个用 300~400 颗 LED 灯，LED 发光字广告招牌专用外露灯 50 个为一串。

9.2 LED 广告字

1．LED 广告字的前期设计

设计包括绘制字体并进行字体孔位排列、制作效果图、绘制施工图。

1）绘制字体并进行字体孔位排列

（1）绘制字体。字体可用软件 Coreldraw9、Coreldraw12 进行绘画，绘画时的尺寸一般有两种：

☺ 一是根据客户提供的字样及尺寸;
☺ 二是按客户要求设计并自定字体及尺寸。



在设计字体时应尽量选择方正、工整的字体，以便于排列，一般可选用方正系列字体或者黑体。

LED 发光字在设计时必须考虑到光源安装的因素，所以在绘画字体、制作效果图这几个常规步骤之外，还需要进行字体的孔位排列。当然，使用亚克力材料来做 LED 发光字可以不打孔。

（2）孔位排列。可用软件 Coreldraw 或 AutoCAD 进行孔位排列，注意根据实际需要制作像素点距，最后的效果如图 9-2 所示。

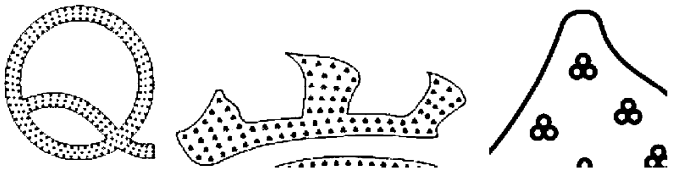


图 9-2　孔位排列效果图

2）制作效果图　效果图分为动态效果图和静态效果图两种。静态效果图可以用软件 Photoshop 或 Coreldraw 系列（官方普及版本 X5、X6、X7）制作，一般是将现场拍到的照片进行效果制作，制作后的效果比较接近安装后的效果，但不能动态变换。动态效果图采用软件 Flash 或 Photoshop CS2 以上版本制作，可以显示 LED 灯光变化的效果。在变化比较烦琐时采用软件 Flash 制作，当变化简单时可以用软件 Flash 或 Photoshop CS2 以上版本制作。

3）绘制施工图 根据实际情况，与客户协商之后用绘图软件（AutoCAD、Photoshop、Coreldraw 等）绘制施工图，在施工图上应该体现安装时的具体位置、材料等，应尽量详细。

2．材料加工

字体选用铁壳字，铁壳字材料通常选用镀锌板材，板材型号分为 0.6mm 镀锌板和 1.0mm 镀锌板两种。铁壳字边缘有包边，包边尺寸后面突出 1mm，与字体焊接在一起，如图 9-3 所示。

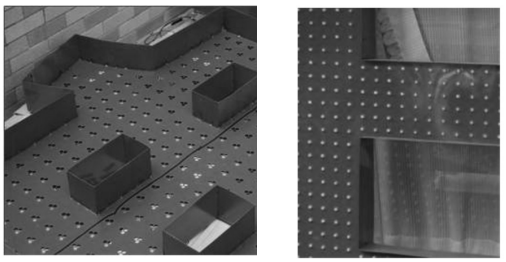


图 9-3 铁壳字边缘包边处理方法

1）字体加工

☺ 批量制作。有条件的可采用数控冲孔及切割，如图 9-4 所示。若没有冲床设备，也可以用人工加工的方法进行。用电钻钻孔，一般 LED 中心间距为 10～30mm，间距越小，亮度越高，成本越高。

☺ 焊接。将已经加工好的字体用氢焊、锡焊或电焊焊接。

☺ 对焊接完毕的字体进行烤漆或者手工喷漆。



图 9-4 数控冲孔及切割

发光字分为平面发光字、冲孔字、背发光字及吸塑字等。

（1）平面发光字。平面发光字由亚克力面板、发光字箱体和发光字光源 3 部分组成，字面是雕刻机在亚克力板材上雕刻成型，包边材质有不锈钢和铁皮烤漆，常用的是 201 材料。不锈钢（镀锌板烤漆）围边平面发光字由 1.0mm 厚度不锈钢（镀锌板烤漆）做边，正面是透光亚克力面板，底板一般是 PVC 或铁皮底板，内侧装 LED 贴片模组，模组是 5050 高清防水模组。

（2）冲孔字。冲孔字材料分镀锌板烤漆冲孔字和不锈钢冲孔字，生产的方法一样，就是材料不同。冲孔字材料厚度为 1.0mm，围边厚度一般是 0.8mm，正面材质通过数控机床冲

9mm 孔，焊接烤漆后在孔中插入 9mm LED 防水灯串（光源有 F5、F8、F9、F12 多种规格），底部没有底板，便于安装。打孔后直接安装，安装时间迅速，在保证可靠连接的同时彻底摆脱手工焊接，避免 LED 受到潜伏性损伤。采用并联接线、智能化控制系统，可产生渐变、跳变、追逐等效果，并可实现异步和同步控制。

（3）背发光字。背发光字由金属字壳、亚克力及 LED 光源组成，材料分镀锌板和不锈钢材质，正面通过机器切割而成，与边带焊接而成，字背面采用 LED 贴片模组，背面可以装螺母螺杆或焊高脚即可安装。

（4）吸塑字。吸塑字和平面发光字唯一的区别就是正面亚克力面板不一样，吸塑面板是普通的亚克力面板通过机器加工雕刻倒模成型，与平面发光字相比较有一个立体的效果。吸塑字发光颜色有红、黄、绿等，以 LED 模组作为光源。LED 吸塑发光字由压克力吸塑面板、发光字箱体及发光字光源 3 部分组成。

2）线材 线材分为单芯线、两芯线、三芯线、六芯线等，可根据需要选用。LED 户外广告的主要电源线一般选用铜芯线。

☺ 单芯线为线规（美规）22AWG，分为红色和黑色两种，用于火线和零线。

☺ 三芯线由红、绿、蓝（R、G、B）3 色组成。

☺ 六芯线为 6×0.5mm 300V PVC 外套，由红、绿、蓝、棕、黄、黑 6 种颜色的线组成。

导线截面积选择有 3 个依据：电流、电压降（线损）和机械强度。

（1）通过计算，根据电流来选择导线截面积是其最主要的依据，并根据不同的敷设方法、环境温度来选择，如表 9-2 所示。

表 9-2 500V 护套线（BW、BLW）的允许截流量

截面面积（mm^2）	单 芯		两 芯		三 芯	
	铝 芯	铜 芯	铝 芯	铜 芯	铝 芯	铜 芯
1.0	—	19A	—	15A	—	11A
1.5	—	24A	—	19A	—	14A
2.5	25A	32A	20A	26A	16A	20A
4.0	34A	42A	26A	36A	22A	26A
6.0	43A	55A	33A	49A	25A	32A
10.0	59A	75A	51A	65A	40A	52A

（2）如果供电电源线较长，则先依据电流选择导线截面积，进行电压降（线损）计算，规范要求电压降（线损）必须小于 5%。电压降（线损）过大会影响广告牌显示效果，甚至影响到正常显示。如果电压降（线损）大于 5%，则要提高导线的截面面积，使之符合设计要求。

（3）对于室外架空线敷设，必须考虑到机械强度，不管其电流多小，铜导线截面积必须不能小于 $2.5mm^2$，铝导线截面积必须不能小于 $4mm^2$。

3）线损 我国目前大多采用三相四线制低压供电系统，即 380V/220V 中性点直接接地低压供电系统，该供电系统具有 3 条相线（火线）A、B、C 和一条零线。零线由变压器二

次侧中性点引出，而二次侧中性点又直接接地与大地零电位连接，因此称之为零线。在三相四线制低压供电系统中它既是工作地线，又是保护零线，现在称为 PEN 线，其中 PE 是保护零线，N 是工作零线，合起来就是 PEN 线，PEN 线表示工作零线兼做保护零线，俗称“零地合一”。不论 N 线还是 PE 线，在用户侧都要重复接地，以提高可靠性。但是，重复接地只能在接地点或靠近接地的位置接到一起，绝不表明可以在任意位置特别是户内可以接到一起。应用中最好使用标准/规范的导线颜色：A 线用黄色，B 线用绿色，C 线用红色，N 线用淡蓝色，PE 线用黄绿色。

在 220V 供电时就要对三相四线供配电线路的工程快速估算，方法如下：

（1）要知道的条件。

☺ 线路要输送的最大负荷功率 P（kW）。

☺ 输电距离 L（m）。

☺ 导线的截面积 A（mm^2）。

（2）计算办法。

☺ 算出已知的负荷矩 $M_1=P\times L$。

☺ 算出基准负荷矩 $M_2=20\times(A/2.5)\times6\times1.7$。



这个公式只适用于铜导线，如果是铝导线则不乘 1.7，即 $M_2=20\times(A/2.5)\times6$。

☺ 电压损失=M_1/M_2。



计算出的数值是几，则电压损失就是百分之几。

☺ 根据所用导线修正，如表 9-3 所示。



感性负荷时修正，阻性负荷时不修正。

表 9-3　修正公式表

导线截面积（mm^2）	电压损失=M_1/M_2	导线截面积（mm^2）	电压损失= M_1/M_2
10 以下	M_1/M_2	16、25	$M_1/M_2\times1.2$
35、50	$M_1/M_2\times1.4$	70、95	$M_1/M_2\times1.6$
120、150	$M_1/M_2\times1.8$	185、240	$M_1/M_2\times2.0$

☺ 确认线路最大负荷功率 P（kW）。

☺ 确认线路距离 L（m）。

☺ 确认导线的截面积 A（mm^2）。

☺ 理论计算。

☺ 实际测试。

只要测试前端电压和末端电压的大小，一对比就知道线损是多少。

3．LED 控制系统

LED 控制器是通过芯片处理控制 LED 灯电路中各个位置的开关。控制器根据预先设定好的程序再控制驱动电路使 LED 阵列有规律地发光，从而显示出文字或图形。LED 控制器系统采用全彩 LED 控制系统，与之连接的电源工作电压有 DC 24V、DC 12V 和 DC 5V 等。RGB 恒压控制器各种模式可随意切换，真正的 0%～100%调光及 RGB 各 16 级静态亮度调节，可调配出 4096 种颜色，各种模式有 16 级速度调节。3 通道 RGB 全彩控制，每通道最大负载电流为 8A。

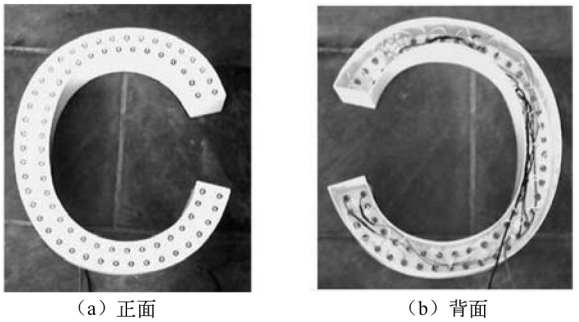
4．配电箱

配电箱是按电气接线要求将开关设备、测量仪表、保护电器和辅助设备组装在封闭或半封闭金属柜中或屏幅上，构成低压配电箱。配电箱有两种：户外防水配电箱和室内普通配电箱。

5．LED 广告字的制作与组装

灯串在制作中必须注意正、负极的正确连接。灯串的制作分为单色灯串制作、RGB 灯串轮廓制作和全彩四段字体制作 3 种。

1）单色灯串制作 单色灯串制作包括单色灯串的插灯和配线。单色灯串的插灯和配线比较简单，把钻好的孔清理干净，逐一插灯。在插灯时，把灯插入字中相应的孔即可。LED 灯按“＋”、－”极依次串联焊接，不能有松动的地方，最后产生一个正极（做标记 A）和一个负极（做标记 K）。单色灯串安装效果图如图 9-5 所示。



（a）正面　　（b）背面

图 9-5　单色灯串安装效果图（冲孔字）



LED 长脚为“＋”（正）极，短脚为“－”（负）极。还可用亮管后部（帽沿）有个小缺口的地方为“－”（负）极标识，来区分正、负极。

2）RGB 灯串轮廓制作 RGB 灯串每 3 个孔为一组，3 个字呈“品”字排列，红色灯珠

插在最上面。在字的正面，蓝色在“品”字排列的左下位置，绿色在“品”字排列的右下位置，如图 9-6 所示。其实际效果如图 9-7 所示。

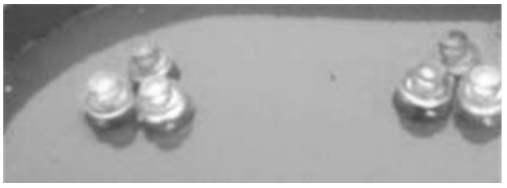


图 9-6　RGB 灯串轮廓的制作位置

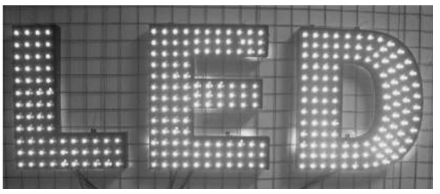
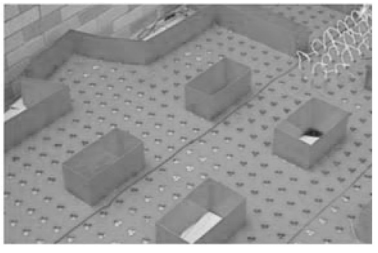


图 9-7　RGB 灯串轮廓实际效果图

3）全彩四段字体制作　制作步骤如下。

（1）字体的划分。把整个字从上到下分成四段，每段之间用笔在字的背面标出分界线，并标出段数，然后进行插灯和配线。

（2）灯串的插灯。全彩灯串的插灯与 RGB 灯串的插灯一样，但要注意灯串要在每段之内，不能跨越两个段。LED 冲孔字插灯示意图如图 9-8 所示。



（a）全彩灯串的插灯



（b）插好灯串LED冲孔字

图 9-8　LED 冲孔字插灯示意图

（3）灯串的配线。在给灯串配线时只要注意“字分四区，每区四线，线分正负，正极相连”的要领即可。完成之后要进行测试，测试所有灯串点亮是否正常，如果工作正常，则把各灯的配线分别用扎带扎好固定，然后在接线部分打上防水胶，灯串的制作就完成了。全彩四段字体实际效果图如图 9-9 所示。

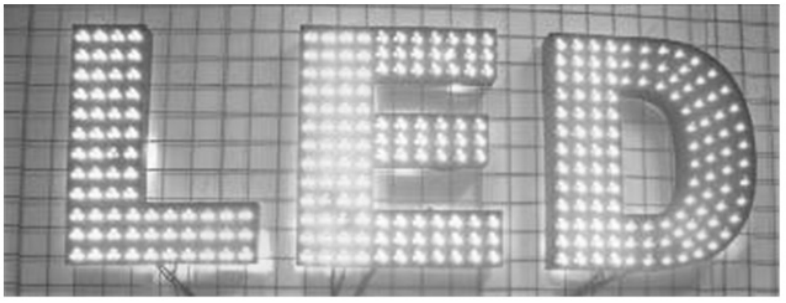


图 9-9　全彩四段字体实际效果图



（1）将各组串联亮管的正极接入控制器的公共正极（红线）端，各组串联亮管的负极接入控制器的各控制负极（绿线、黄线、黑线、白线）端。

（2）模组与字体边的距离一般为 2 ~ 5cm，模组与模组间的垂直和水平距离建议为 2 ~ 6cm。

（3）采用等间距排列，在计算机上模拟 LED 模组分布，初步预算所需 LED 模组数量。模组间距可视亮度需要在 3 ~ 6cm 之间，发光字的厚度可选择 5 ~ 18cm 之间。

（4）普通的 LED 电流一般为 20mA，在实际过程中白光、绿光、蓝光一般为 17 ~ 18mA，红光和黄光一般为 12 ~ 13mA。

（5）LED 模组功率=单个 LED 的功率×LED 的个数×1.1。

6．LED 发光字的制作与组装

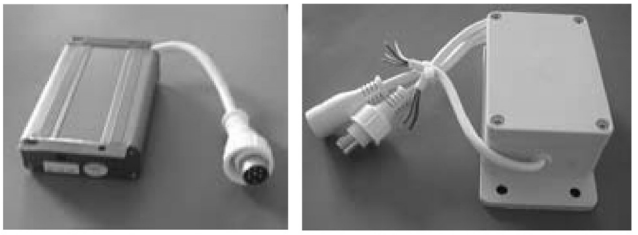
LED 发光字是城市亮化中的重要组成部分，在所有的亮化项目中，起到画龙点睛的作用，明确亮化主题，突出亮化目的。LED 发光字是以 LED 灯为光源发光的一种广告标识产品，以其多种多样的色彩、均匀亮丽的发光效果、高效节能、安装使用方便受到广大广告客户的青睐，并迅速普及。LED 发光效果分为 LED 外露灯发光字、LED 吸塑发光字、LED 灯箱（拉通）发光字、LED 背发光字、LED 树脂发光字等。

（1）外露发光字以铁皮字、不锈钢字、铝字、钛金字表面冲孔装上 LED 单颗防水灯串。常用的制作材料有亚克力板、镀锌板、不锈钢、钛金板。

（2）LED 模组发光字面板采用亚克力平板或吸塑，外壳采用镀锌板、铝板、不锈钢板烤漆等，采用单色、七彩发光模组，全彩是点控的，可以实现流水、追逐、跳变、渐变、扫描、扩散、拉幕、开幕等全彩效果。

7．全彩控制系统的安装

当整个字体分成几段进行颜色变换时要使用全彩控制系统。全彩控制系统分为主控器和分控器，如图 9-10 所示。整个控制线路连接示意图和实物图分别如图 9-11、图 9-12 所示。



（a）主控器　　（b）分控器

图 9-10　全彩控制系统

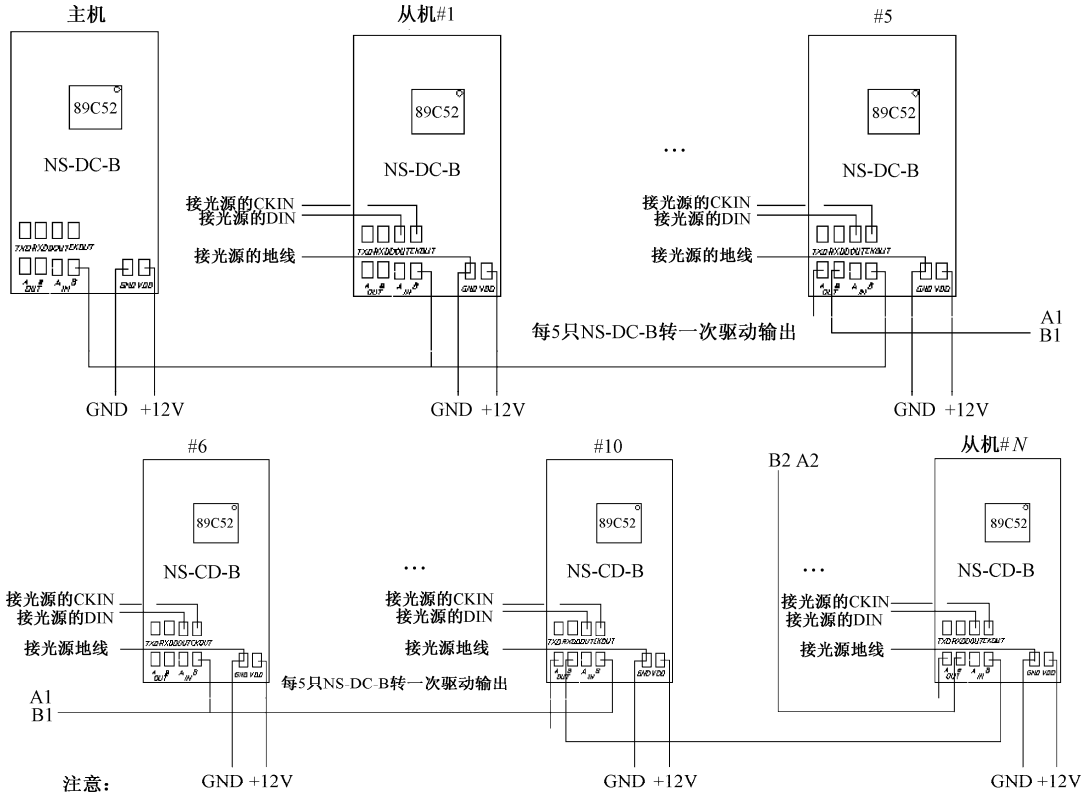


图 9-11　控制线路连接示意图

目前，可以采用交流同步的控制器（即没有主控），对控制器进行编号，编号为 1～*N*。按编号进行安装，不能装错或装反，否则控制不能进行。

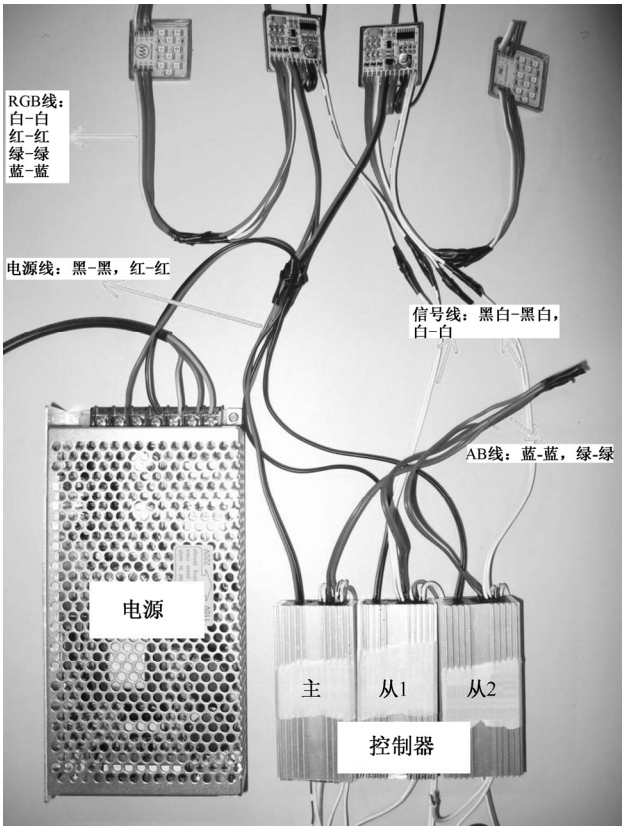


图 9-12　实物图

8．现场施工

招牌的安装主要有铝塑板面的安装，墙壁安装，三脚架安装、焊接且字体后面加装铝合金板条安装，立式安装等。

（1）铝塑板面的安装。即把招牌安装在铝塑板上，其实际效果如图 9-13 所示。



图 9-13　铝塑板面安装的实际效果图

（2）墙壁安装。即把招牌安装在墙壁上面，其实际效果图如图 9-14 所示。



图 9-14　墙壁安装的实际效果图

（3）三脚架安装、焊接且字体后面加装铝合金板条安装。三脚架安装一般在字体后面加装铝合金板条配合，更加美观和坚固。其实际效果图如图 9-15 所示。



图 9-15　字体后面加装铝合金板条

（4）立式安装。立式安装把字体立起来固定，其实际效果图如图 9-16 所示。



图 9-16　立式安装的实际效果图

9.3　LED 灯带

1．LED 柔性霓虹灯

自 1902 年开始，玻璃霓虹灯已经广泛应用于室内和室外线性装饰照明。玻璃霓虹灯存在安装复杂、易破碎、潜在的震动危险、高电压驱动不安全、使用寿命短、维护费高和耗电量高等缺点。LED 柔性霓虹灯是伴随 LED 产品的丰富应用应运产生的，并将全面取代玻璃霓虹灯。市面上 LED 柔性霓虹灯如图 9-17 所示。

与传统的玻璃霓虹灯相比，LED 柔性霓虹灯易于剪接，用手容易弯曲成任何角度，同时可以在几分钟内完成安装。最重要的是，LED 柔性霓虹灯已经成功实现了玻璃霓虹灯的连续发光效果，从外表上看不到点状光点。LED 柔性霓虹灯已经被广泛应用于建筑物的外

墙、轮廓、广告招牌、街道、橱窗、舞厅、商场、酒店等装饰照明中。

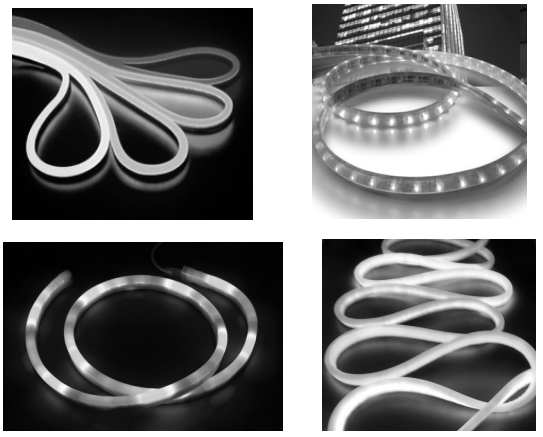


图 9-17　市面上 LED 柔性霓虹灯

1）LED 柔性霓虹灯的特点　与传统霓虹灯相比，LED 柔性霓虹灯具有如下特点。

（1）传统霓虹灯投资大，制作工艺复杂，使用玻璃管、高压电及惰性气体时有诸多不便。LED 柔性霓虹灯采用全新的结构和 LED 技术，由特制的 PVC 外壳包上明亮的 LED 灯泡，运用特有的光学技术与专门的外壳设计，不仅增加了光线的强度和均匀度，而且简化了工艺流程，提高了生产效率。

（2）传统霓虹灯只能在常温下工作，使用过程中必须升高电压，用电量也较大，造价高，使用寿命短，不便维修。而 LED 柔性霓虹灯每一个点的 LED 是冷光灯，只散发低热量，相同亮度 LED 相当于传统灯泡 1/7 的耗电量，而且 LED 比传统灯泡的寿命长，同时 LED 柔性霓虹灯还具有防震、耐热功能。

（3）传统霓虹灯利用变压器，需要两套玻璃管，字体太大时笔画中间不亮，太小、太复杂时则加工不出来。而柔性霓虹灯工作电压有 AC 110V 或 220V，也有 DC 24V 或 12V。柔性 LED 霓虹灯最高可以达到 360° 弯曲，可以弯曲成各种文字。颜色有 RGB、四彩、红色、黄色、蓝色、绿色、粉色、白色、暖白等。只散发低热量，安装时也可剪成任何长度，弯曲成不同的形状（可弯曲成半径 4cm 的圆），很方便地用特制轨道与不同的材料表面安装在一起，如木材、塑胶、钢材或墙壁，同时可根据设计师的需要设计装饰成不同的图案。

2）如何区别 LED 柔性霓虹灯的质量　目前国内有多家工厂从事 LED 柔性霓虹灯的生产，但产品品质参差不齐。下面介绍如何区分优质 LED 柔性霓虹灯和劣质 LED 柔性霓虹灯。

劣质 LED 柔性霓虹灯存在的问题：

☺ 色斑严重，重点表现在黄光和白光两种产品上。

☺ 灯珠虚焊，整卷 LED 柔性霓虹灯多处出现不亮，或碰一下就亮。

☺ 容易断主线，前面的亮，后面的不亮。

☺ 内芯模材料太薄，插针处的容易造成短线，造成 LED 柔性霓虹灯烧坏。

☺ 外皮粗糙，胶料发黄，表面杂质多。

☺ 灯珠亮度不够，整体发光暗淡，不均匀。

优质 LED 柔性霓虹灯的优势：

☺ 整体发光均匀，无色斑，无黑点。

☺ 很少有虚焊、碰脚现象，不会造成短路或不亮。

☺ 主线采用 21 支铜芯线，不容易断主线，不会造成整条不亮。

☺ 内芯模材料比较厚；插针插入后不容易破损，不易造成短路烧毁。

☺ 表面光滑，胶料柔软洁净，无杂质；胶料饱实，手感很好；剪切口印迹端正。

☺ 灯珠采用国内比较稳定的厂家产品，整批次色差小，亮度均匀。

☺ 配件齐全，包装精细（采用高档胶轴，不易破碎）。

☺ 安装后不易出现问题，使用寿命长。

3）LED 柔性霓虹灯安装注意事项

☺ 安装时，将塑胶轴架住，然后吊下安装，切忌将整卷全部拆下再安装。

☺ 切口处用刀片切均匀，不可随意切断；剪掉多余的铜线，将顶端左右摇摆，再装入插针。

☺ 插头及尾塞处打好硅胶，做好防水处理。

☺ 安装中切忌用力拉 LED 柔性霓虹灯，产品只可以承受 4.5kg 的拉力。

2．LED 彩虹管

彩虹管是由上等 PVC 塑胶及一系列串联、并联微型 LED 排列组合而成的高级线形装饰灯，寿命可达 10 万小时，色彩艳丽、不褪色、低能耗，在装饰工程方面得到了广泛的应用。

1）LED 彩虹管的参数介绍

☺ 电压：一般是指整个灯带的电压，通常有 AC 220V、AC 110V、DC 24V、DC 12V。接错电压就会造成整条彩虹管损坏。

☺ LED 灯泡颜色：二线的彩虹管一般为单色（红、黄色），三线、四线、五线的可以做成其他混合色，如红黄、红绿蓝等。

☺ 每米灯泡数：指每米的灯带里面包括 LED 的数量。常规产品为 36 粒、72 粒、108 粒、144 粒。

☺ 截面形状：包括圆形和扁形。又可细分为（大、小）二线、大三线、扁三线、扁四线、扁五线。

☺ 控制：数码控制器组成排跳、段跳等多种模式从而产生一种崭新的视觉效果并演变出渐变、跳变、追逐等效果。



几线就是说在 PVC 芯线里面有几根铜导线，回路数=线数−1，如扁五线，即里面有五根铜芯线、四个回路。

☺ 可剪的长度：一个串联回路的长度。有些是一米一个单元，有些是两米一个单元，分剪时必须按照“剪刀”标记剪切，以免造成因单元回路遭破坏引起的不正常工

作，横截面要平整。

☺ 最大使用长度：单条灯带的最大长度，一般 110V 的为 60m，220V 的为 120m。

☺ 防水等级：各产品防水等级可能不一样，但如果在户外露天使用，则建议在 IP65 左右比较合适。



（1）安装时，请将灯带向一侧弯曲，露出 2～3mm 铜线，并用剪钳剪干净，不得留有毛刺，避免短路。

（2）灯管尾端必须在用尾塞套住前用胶水粘牢。各接口处必须用玻璃胶或其他适当方法密封接口处，保证各接口处不进水。

（3）只有规格相同、电压相同的两段灯管才能相互串接，串接总长度不可超过最大许可使用长度。

2）LED 彩虹管附件 LED 彩虹管附件有电源线、中间接头、尾塞、固定卡。这几个配件必不可少，因为没有这些配件就无法安装。如果需闪动、流水等效果，则要使用 LED 控制器。LED 彩虹管附件及内部接线图如图 9-18 所示。

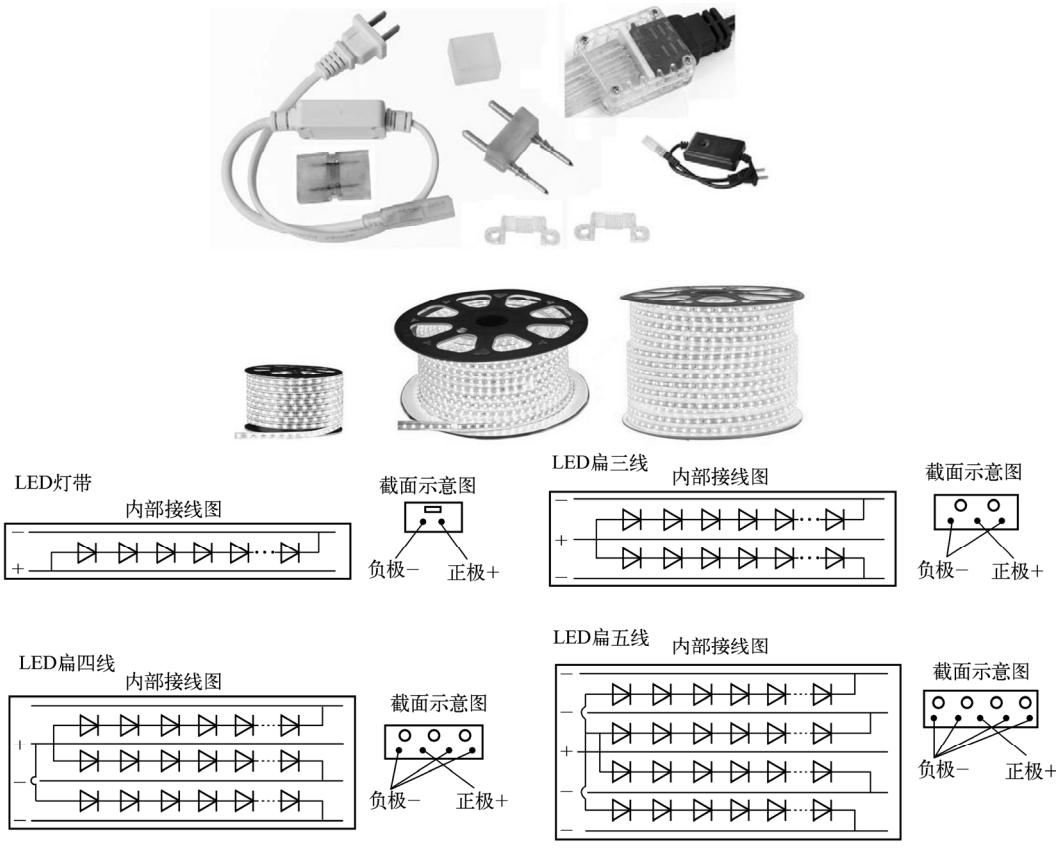


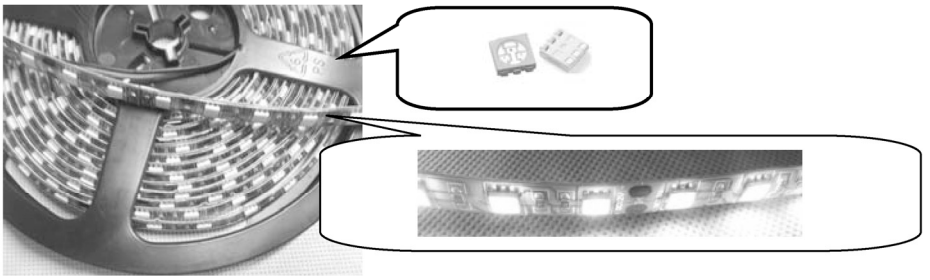
图 9-18 LED 彩虹管附件及内部接线图



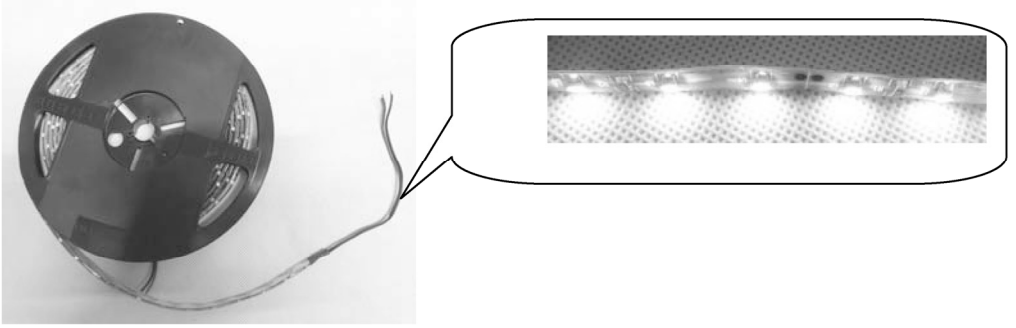
节日圣诞灯有 LED 灯串、满天星灯串、LED 流星雨、LED 网灯、LED 冰条灯等，颜色有红、黄、蓝、绿、白、彩色。配套电子控制器可产生常亮、闪烁、渐变、追逐、波浪等多种灯光变化组合。工作电压有 DC 12V、DC 24V、AC 120V 或 AC 230V。灯串装饰挂件有雪花、五角星、月亮、心形、苹果、橘子、桃子、草莓、枫叶等。

3．LED 软灯条

LED 柔性灯条又称为 LED 软灯条，其结构主要由 SMD LED 灯珠、FPC（柔性 PCB）、电阻组成。市面上 LED 软灯条用的灯珠主要为 SMD3528（3.5×2.8mm）、SMD5050（5.0×5.0mm）。LED 软灯条灯珠采用 SMD3528、2835、5730，规格有 30PCS/m、60PCS /m、120PCS/m，其尺寸大小为 2×8×5000mm。LED 软灯条灯珠采用 SMD5050，规格有 30PCS/m、60PCS/m，其尺寸大小为 2×10×5000mm。柔性 LED 灯条的外形如图 9-19 所示。工作电压有 DC 12V 或 DC 24V。采用柔软的 FPCB 为基板，可随意对接、弯曲、裁剪，沿着上面切线（标示）任意截断和焊接可达到各种灯条长度。



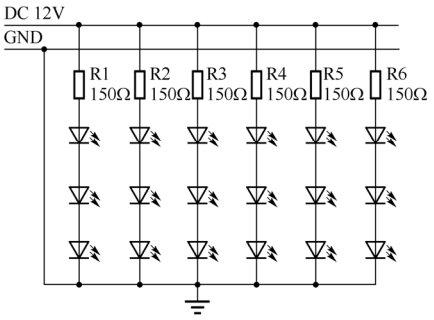
（a）SMD5050柔性LED灯条



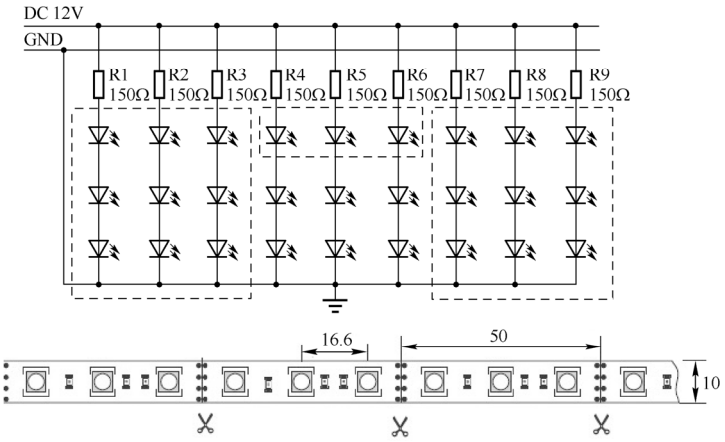
（b）SMD3528柔性LED灯条

图 9-19　柔性 LED 灯条的外形

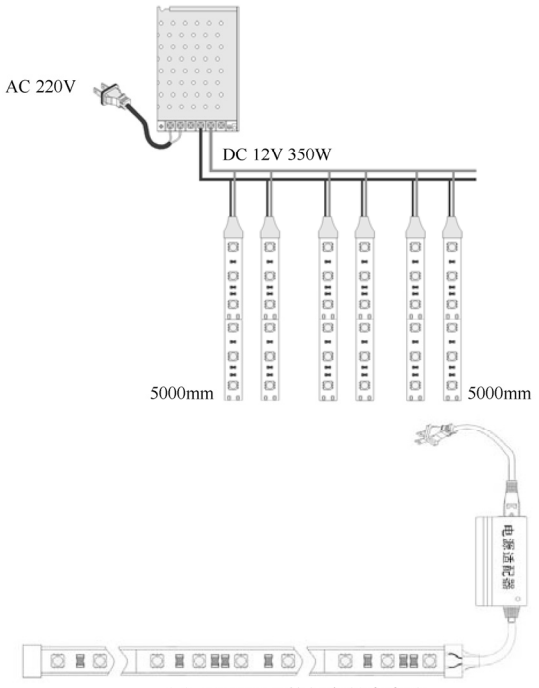
SMD3528、2835、5730、5050 软灯条的电路原理图如图 9-20（a），（b）所示，SMD5050 软灯条供电电路如图 9-20（c）所示。LED 软灯条要求 PCB 段与段之间的连接点焊点光滑，无锡尖、锡包、短路等，PCB 之间无空隙、翘曲、位移等。



（a）SMD3528、2835、5730软灯条的电路原理图



（b）SMD5050软灯条的电路原理图



（c）SMD5050软灯条供电电路

图 9-20　LED 软灯条的电路原理



（d）RF迷你单色控制器

图 9-20　LED 软灯条的电路原理（续）

RF 迷你单色控制器采用 433MHz 无线信号进行控制，其主要用于控制 LED 软灯条、LED 硬灯条、LED 模组等。具有单路静态 10 级亮度调节、8 种单色动态模式，可实现爆闪、呼吸、渐明渐暗、频闪、闪烁等多种模式。RF 迷你单色控制器如图 9-20（d）所示。



- ☺ 每批白光 LED 出厂时，对每 BIN（挡位）都经过色差确认。在生产灯条或灯带等产品时，请在确认色差之前，勿将不同 BIN 的产品混在一起生产，以免出现色差。
- ☺ LED RGB 灯带配套 RGB 控制器可固定单色，也可实现彩色、渐变、跳变、闪烁等效果，可调节灯光渐变、跳变、闪烁的速度快慢，有防水和不防水两种。
- ☺ LED 软灯带长度为 5m，工作电压为 DC 12V。每隔 3 颗 LED 灯即可组成一回路，每 3 个 LED 可以沿着上面切线任意截断，不损坏其他部分。由印制电路板组成，背面带双面胶，用于粘贴。双面胶要贴平、贴正。
- ☺ LED 裸板灯带不防水；滴胶灯带防潮、防水滴，但不可浸于水中；套管灯带有防水功能，可浸于水中。视防护等级要求，进行防水实验，无电气不良现象。
- ☺ 滴（灌）胶 LED 灯带灯珠上方不可有气泡，灯珠范围外气泡直径不可超过 1mm，1m 内不可有 3 个以上气泡。补胶 LED 灯带不能有明显胶印痕迹，不能有明显切割痕迹，手感无明显高低不平现象。
- ☺ LED 灯带经弯曲缠绕及震动等破坏实验之后，LED 灯带无电阻、灯珠连接线脱焊、松脱等异常情况。
- ☺ 5V USB 端口 LED 软灯条本身自带控制器，可以与计算机、台式机、笔记本电脑、平板电脑、汽车点烟器驱动配套。大约有 20 种动态效果和 20 种静态效果，可以控制速度和亮度，实现鲜艳颜色的灯光效果。
- ☺ IP20 裸板为室内不防水，IP65 表面滴胶为半户外防水，IP67 硅胶套管可户外防雨使用，IP68 实心灌胶为户外水下全防水使用。
- ☺ SMD5050 软灯条不能出现明显的色差、亮度不一致、死灯或单芯、两芯亮等严重缺陷。

☺ 滴胶防水 LED 灯带表面滴胶均匀、无胶液溢出、无残缺，滴胶表面光洁度好、透明度高，无脏污、灰尘、杂质异物及气泡等。

☺ 在短路情况下，LED 灯带及其附件不应当出现过热烧焦、爆炸等安全危险现象。LED 灯带应符合 GB 7000.1—2015《灯具　第 1 部分：一般要求与试验》第 12.5 节异常测试要求。



9.4　LED 控制系统

随着亮化工程增加，控制效果也要求越来越复杂，目前对于 LED 控制系统，可以按其工作性质分为网络控制系统、总线控制系统和驱动型控制系统 3 类。

1．网络控制系统

由于网络技术的普及和成熟，LED 装饰照明控制系统中应用 TCP/IP 网络技术已成明显的趋势。TCP/IP 协议（Transfer Controln Protocol/Internet Protocol）称为传输控制/网际协议，又叫网络通信协议，是国际互联网络的基础。用 TCP/IP 协议可实现整个系统的宽带、距离、可靠性和双向等功能，这意味着在一个网络里可同时连接的设备更多，且连接的距离更长。传输控制协议使 LED 装饰照明系统的控制质量和可靠性更高，双向通信使设备的远程监测和控制更有效，因而构筑大规模可靠的 LED 装饰照明系统的网络成本更低，这是以现代计算机网络技术为支持的必然结果。

2．总线控制系统

总线控制系统包括 4 种。

1）DMX512 控制系统　目前 DMX512 也是应用最广泛的 LED 控制系统，实际上是 LED 市场单独的标准。由于 DMX512 也要设定地址，而 DMX512 最多只能控制 512 个通道，也就是 170 个全彩 LED 灯具，所以它只能应用在小规模 LED 控制系统中。

DMX512 控制协议（USITT DMX512（1990））由美国舞台灯光协会（usITT）于 1990 年发布，是灯光控制器与灯具设备进行数据传输的工业标准，其内容有电气特性、数据协议、数据格式等方面。

DMX512 控制器采用 4 线控制方式控制 DMX LED 灯具。在建筑亮化工程中，直流的线路衰减大，要求在 100m 左右安装一个中继器，控制总线为并行方式。DMX512 协议要对每个接收设备设定地址，通常是通过写码器设定地址，而在 DMX LED 灯光控制应用中有些 LED 灯具对防水有较高的要求。

DMX LED 水下灯、埋地灯等是无法通过拨码开关设定地址的，可以通过专用 DMX 电源进行，有写码与不写码设定地址的方式。随着技术的发展，现在也出现了自己写地址的控制系统，只是多加了两根地址线。多个控制器互联来控制复杂的照明方案，软件比较复杂。所以 DMX512 比较适合灯具集中在一起的场合，如 LED 舞台灯光。



DMX512 灯具必须有独立的 ID 及地址码，地址码通常有两种设定模式。其一，DMX512 灯具具有地址编码功能，主要通过拨码开关实现；其二，通过写码器对 DMX512 灯具的地址进行写码。

2）串行 SPI 控制系统 以级联的方式进行控制。由于其芯片是专为 LED 显示屏设计的，而为显示屏设计的 LED 驱动芯片是多路的，如 8 路、16 路，所以这种控制方式在 LED 轮廓灯上应用较多。有一个 LED 驱动芯片出现故障，就将导致整条总线通信中断，出线过多，所以不适合在 LED 点光源上应用。

3）RS-485 总线控制系统 采用 RS-485 联网控制方式，每个 LED 灯具内置一片单片机进行控制并连接到 RS-485 总线上，通过一台控制器对 RS-485 总线上的每个单片机进行控制。这种控制方式需要对每个灯具设定地址，在工程应用中很不方便。而目前各个控制器厂商虽然都用 RS-485 协议，但应用层标准尚未统一，所以造成各个厂商的产品无法兼容。

4）DALI 总线控制系统 DALI（数字可寻址接口标准）是欧洲数字式荧光灯照明控制系统。在 DALI 系统中，每个灯具有一个地址，并有一组控制命令。可寻址范围是 144 个灯，并能实现群控的能力。每个 LED 灯具中使用一个单片机完成 DALI 数据的接收和 DALI 命令的控制。



DALI 总线控制系统用于室内的智能化、节能化照明管理，其受控对象为镇流器。

5）ZigBee 技术 ZigBee（紫蜂协议）是基于 IEEE802.15.4 标准的低功耗局域网协议，是一种短距离、低功耗的无线通信技术。ZigBee 技术能融入各类电子产品，应用范围横跨全球民用、商用、公用及工业用等市场。在 LED 照明领域主要用于实现智能调光、远程监控等功能。

6）电力载波 电力载波通信即 PLC，为电力系统特有的通信方式，是利用现有电力线，通过载波方式将模拟或数字信号进行高速传输的技术。在 LED 照明领域主要用于实现智能调光、远程监控等功能。

7）红外通信技术 红外通信技术利用红外线来传递数据，是无线通信技术的一种。1993 年成立了红外数据协会（Infrared Data Association，IrDA）以建立统一的红外数据通信标准。1994 年发表了 IrDA 1.0 规范。目前在 LED 照明领域有相关的电源利用 IrDA 技术进行电流的调节。

3．驱动型控制系统

驱动型控制系统相对前面两种控制系统较为简单。常用驱动型系统分为以下两种类型。

1）LED 串行移位控制器 低压型 LED 产品串行控制器的特点是控制路数多，利用串行信号传输达到控制的目的；TTL 电平信号控制，一般 512 单元的控制只需要 4 条控制连线，即 DA 数据线、CK 时钟线、ST 锁存线和 GND 地线，串行 LED 控制器需要在 LED 的

光源板配有移位寄存器，超过 512 路需要加分控器，如图 9-21 所示。

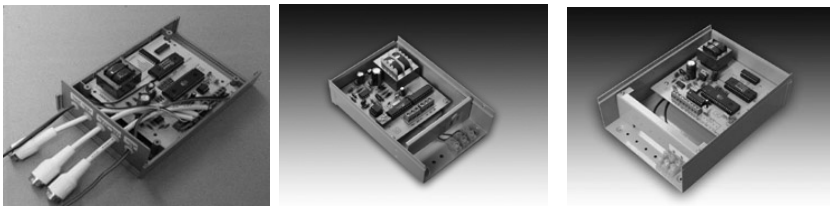


图 9-21　LED 串行移位控制器

2）低压型 LED 产品控制器　低压型 LED 产品一般设计电压为 12～36V，每个回路 LED 3～6 个串联，用电阻降压限流，每个回路电流在 20mA 以下。一个 LED 产品由多个回路的 LED 组成，其优点是低压，结构简单，容易设计；缺点是：产品规模大时电流很大，需要配置低压开关电源。由于产品缺点所限，低压不可能远距离输电，都是局限于体积不大的产品上，如招牌文字、小图案等。所以控制器设计规格为 12V 的选用 75A/30V MOS 功率管控制，输出电流 8A/路；24～36V 的选用 60A/50V MOS 功率管控制，输出电流 5A/路。LED 必须是共阳极连接法，控制器控制阴极，控制器不包括低压电源，如图 9-22 所示。

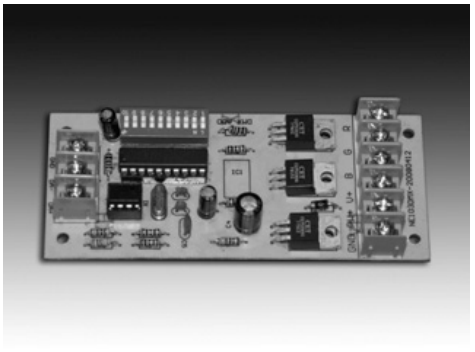


图 9-22　低压型 LED 产品控制器

9.4.1　LED 控制系统功能分类

LED 控制系统按功能分为：渐变 LED 控制器、7 色（跳变）LED 控制器、音频声控 LED 控制器、电脑联机 LED 控制器、通用 LED 控制器、单管 LED 控制器、CF 卡 LED 控制器、渐变霓虹灯控制器、实时同步视频 LED 控制器。



（1）LED WiFi 控制器。在传统带有红外、射频技术的控制器基础之上，通过安卓系统的手机安装了控制软件便可以遥控 LED。

（2）2.4GHz 无线遥控 LED 控制器。采用目前最先进的 PWM（脉宽调制）控制技术；可控制所有四线三回路（共阳极）LED 全彩灯饰产品，拥有 64 万种颜色和 15 种自动演示模式的选择，且具有记忆功能。

9.4.2 LED控制系统的结构与组成

以上是LED控制系统的基本分类，现在再对LED控制系统的组成和结构进行介绍，整个LED控制系统分为两个系统，即控制系统和LED驱动系统。

1）控制系统 控制器部分是控制系统的核心部分，它最基本的功能是将每个控制单元的颜色数据发送给相应的控制单元，使所有单元相互配合，产生用户预想的效果；控制系统也决定了控制器的应用范围。通用的控制部分比较复杂，关系到软件和硬件。LED控制系统内置高性能单片微型控制芯片，控制器通过内部控制程序向LED驱动芯片发送控制信号和数据，LED驱动芯片根据控制信号和数据的要求，产生相应的动作，从而对每一路红、绿、蓝LED实现单独的控制。若微控制器连续地向一串LED驱动芯片发送控制信号和数据，则可使各LED受到连续的协调控制，可将预想的变化效果转化成LED控制器可处理的数据格式及适当的控制指令，再连续发送给各个LED驱动芯片，使整体灯饰表现出想要的效果。

软件系统是控制系统和灯光效果设计师的交互窗口，具有十分重要的作用。软件系统的作用是让光效设计师通过简便的、人性化的操作编辑出预想的效果，并转化为控制系统可接受的数据格式和控制指令。这些效果包含常规的颜色跳变、渐变、彩虹滚动等，也可能包含文字、图片的显示、视频、动画的播放等。软件系统根据特定的效果，计算每个控制单元的颜色数据，最终生成用于控制器的光效文件。根据系统的联机或脱机特性，软件的使用略有不同。控制系统具有一套完善的配套软件，可极大地简化光效的编辑，甚至完成一些人工无法完成的效果。

2）LED驱动系统 LED驱动系统的功能是接收颜色数据并驱动LED按该数据所表示的亮度值显示。驱动方式通常分为恒压、恒流、先恒压再恒流3种。

9.5 LED工程设计与安装注意事项

接到LED工程项目时，根据客户的要求，要对项目的现场进行实地勘察，并对一些安装场所拍摄图片，提供给设计师设计效果图。也要对配电箱（取电口）的位置进行考察，了解功率的大小，并进行实地测量，画出草图。

1．根据工程场地选择相应的LED产品

随着LED的发展，LED的应用也越来越广泛。

（1）立交桥、河道、花园护栏、建筑外墙、室内外装饰：对于轮廓性的亮化，一般用LED护栏管（一般是指单色的LED）、LED数码管、LED彩虹管和LED霓虹灯的比较多。在要求效果比较复杂的地方，还是LED数码管比较合适，也容易控制。但是在使用LED数码管的时候要注意LED数码管的密封、接头的防水和级联的长度，不然就会给后面的工程方案增加麻烦。LED彩虹管控制效果相对来说比较简单，但只能实现一些跳变、渐变等效果，成本比较低，安装比较方便，容易维护。如果客户要求的效果不是太复杂，可以选择此产品。

（2）发光字和灯箱：LED模组（防水）和LED软灯带或LED硬灯条比较合适。其柔

软性比较强，安装比较灵活，根据不同的亮度可以选择不同功率的 LED，加上不同的驱动和控制系统也可以实现复杂的单点控制效果。LED 模组是目前最成熟的产品，防水方面也可以达到 IP68。由于目前 LED 模组的质量参差不齐，价格方面也有很大的差异，一般情况下可以根据性价比高低进行选择。

（3）照明与亮化：需要局部照明和亮化的场所，一般用 LED 投光灯、LED 洗墙灯、LED 泛光灯比较合适，可以通过不同角度透镜来控制发光角度，照射的距离比较远。对于 DMX RGB LED 投光灯，连上 DMX 控制器即可实现很多种不同的效果。

（4）工业照明与家用照明：目前 LED 白光的成本已经适应市场要求，LED 灯具种类也越来越多，在光效及照射性能方面还有很大的改进空间，主要应用在公共场所、机关单位、企事业单位。

（5）交通和道路照明：主要是交通灯和 LED 路灯、LED 隧道灯的应用。

（6）信息显示：各种大型的、小型的电子显示屏也是 LED 用于信息显示的一个主要方面。大型的信息显示屏控制线路比较复杂，尤其在户外使用的显示屏，其防水是非常重要的。LED 显示屏用于体育场馆、银行、证券、邮政、码头、商场、车站、机关、监控、学校、餐厅、酒店、娱乐等不同户外场所的广告宣传。

2．制作效果图

选择好产品后，对一些装饰性的 LED 工程进行设计，做出相应的效果图。目前做效果图的软件也比较多，其中通用的就是 Flash。优秀的设计师设计出的 LED 效果图不一定是最好的，但一定能在安装过程中实现。因为 LED 效果图并不仅仅是在计算机上面显示出来，而是要通过 LED 灯具结合 LED 灯具控制器，控制 LED 灯来实现。笔者建议在做 LED 效果图的时候，一定要考虑设计出来的效果能不能实现。因为计算机显示出来的效果与真正的效果会不一样，可能引起不必要的纠纷，让客户产生不信任感。

3．确定详细方案

1）确定场地 在现场进行实地勘察时，确定场地是户外还是户内、所用产品的大概数量及整体设计方案。场地比较重要，因为它关系产品是否要考虑防水、防晒等一些相关指标。

2）控制方案与电源系统 选择 LED 灯具类型、数量、连接方式及控制系统的设计。如果选择的不是交流市电产品，则还要选择电源的功率、输出电压及电源配线方面的方案。这是一个比较复杂的环节，下面进行详细介绍。

确定 LED 产品类型、数量及排列方式。最好按效果图排列，这样有利于实现与设计效果图一样的效果。

在选择低压电源的时候应该注意以下几个方面。

（1）高可靠性：LED 路灯的驱动电源安装在高空，维修起来不方便，维修的花费也大。

（2）高效率：LED 是绿色节能产品，驱动电源的效率要高于 90％。在灯具内安装电源的结构尤为重要。因为 LED 的发光效率随着 LED 温度的升高而下降，所以 LED 的散热非常重要。电源的效率越高，耗损功率越小，在灯具内发热量就小，也就降低了灯具整体的温

升，有利于延缓 LED 的光衰。

（3）高功率因数：功率因数是电网对负载的要求。一般 25W 以下的电器没有强制性指标。虽然功率不大的单个电器功率因数低一点对电网没有大的影响，但如果同类负载太集中，也会对电网产生较严重的污染。

（4）驱动方式：现在通行的驱动方式有两种，其一是一个恒压源给多个恒流源供电，而每个恒流源又单独给每路 LED 模组供电。这种供电方式组合灵活，一路 LED 模组故障时不影响其他 LED 模组的工作，但成本会略高一点。另一种是直接恒流供电，LED 串联或并联组成 LED 模组。驱动电源的寿命要与 LED 的寿命相适配。LED 照明灯具中要解决某个 LED 故障不影响其他 LED 模组运行的问题。目前 LED 驱动电源有两种形式，一种是低电压大电流，另一种是高电压小电流的输出供电方式，在成本和性能方面会较好，是未来的主流产品。

（5）浪涌保护：LED 抗浪涌的能力是比较差的，特别是抗反向电压能力。加强这方面的保护非常重要。安装在户外的 LED，如 LED 路灯，由于电网负载的启用和雷击的感应，电网系统中会侵入各种浪涌，有些浪涌会导致 LED 的损坏。因此 LED 驱动电源要有抑制浪涌的侵入、保护 LED 不被损坏的能力（如加入抗浪涌的元器件）。

（6）保护功能：电源除了常规的保护功能外，在恒流输出中还可增加 LED 温度负反馈，防止 LED 温度过高。

（7）防护方面：若是户外安装型灯具，则电源结构要防水、防潮，外壳要耐晒。

（8）驱动电源的功率：在选择电源功率时应留余量，不能超过电源的最大功率。电源功率一般为 LED 灯具功率的 1.2 倍。

（9）要符合安规和电磁兼容的要求。

3）模拟现场的安装方式、调试过程 所有的产品生产后，一般情况下，要尽量模拟现场的安装方式、调试过程。对整体调试系统的各种技术参数和系统的完整性有一定的了解，以便更好地指导安装工作。

4．工程的安装

LED 灯具的安装和调试是工程完成的最重要环节，也是最容易出现问题的环节。在安装的时候尽量安排工程技术人员到现场跟进和指导。现就安装过程中容易出现的问题列举如下，以供参考。

（1）电源配置：电源电压与灯具标示的工作电压一致，特别要注意输入灯具电源是直流还是交流，电源线路要设置匹配的漏电开关、空气开关及过载保护开关，确保电源的可靠性。

（2）防水问题：户外安装的 LED 灯具必须做好防水措施，仔细检查灯具有可能进水的部位，特别是线路接头位置。LED 灯具均自带公母接头，在灯具相互对接时，先将公母接头的防水 O 形圈安装妥当，然后将公母接头对接，确定公母接头已插到底部后用力锁紧螺母即可。安装具有闪烁、追逐、动画、字幕等显示效果的灯具时，先将信号公母接头连接好，然后接电源公母接头。

（3）产品检测工作：拆开产品包装后应认真检查灯具外壳是否有破损，电源线有没有破损，如灯具外壳、电源线破损，请勿点亮 LED 灯具，并采取必要的修复措施或更换。

（4）灯具串接数量：可以延伸对接 LED 灯具，要注意可延伸对接的最大数量，不可超量对接安装和使用，否则会烧毁控制器、灯具及电源。

（5）灯具的固定：灯具安装时，如果遇到不可打孔的地方，切不可使用胶水等直接固定，必须架设铁架或铝合金支架后用螺钉固定；固定时不可随意减少螺钉数量，安装一定要牢固可靠，不能有飘动、摆动和松脱等现象；切不可将灯具安装于易燃、易爆的环境中，并保证 LED 灯具有一定的散热空间。

（6）轻拿轻放：灯具在搬运及施工安装时，切勿摔、扔、压、拖灯体，切勿用力拉动、弯折延伸接头，以免拉松密封固线口，造成密封不良或内部芯线断路。

（7）针对目前工程中使用较普遍的 LED 彩虹管或高压灯带，在安装时要注意以下事项。

- ☺ 在整卷彩虹管或高压灯带未拆离包装物或堆成一团的情况下，切勿通电点亮 LED 彩虹管。
- ☺ 根据现场安装长度需裁剪彩虹管或高压灯带时，只能在印有剪刀标记处剪开灯带，否则会造成其中一个单元不亮，一般每个单元长度为 1 m 或 2m。
- ☺ 接驳电源或两截灯带串接时，先向左右弯曲灯头部，使灯带内的电线露出 2 ~ 3mm，用剪钳剪干净，不留毛刺，再用公针中接对接，以避免短路。
- ☺ 只有相同规格、相同工作电压的彩虹管或高压灯带才能相互串接，且串接总长度不可超过最大使用长度。
- ☺ 彩虹管或高压灯带相互串接时，每连接一段，即试点亮一段，以便及时发现正负极是否接错，以及每段彩虹管或高压灯带的光线射出方向是否一致。
- ☺ 彩虹管或高压灯带的末端必须套上 PVC 尾塞，用夹带扎紧后，再用中性玻璃胶封住接口四周，防止漏电，确保使用安全。
- ☺ 因 LED 为单向导电性电子元件，所以若使用带有交/直流转换器（AC/DC）的电源线，应在完成电源连接后，进行通电试验，确保正负极连接正确，再投入使用。

5．工程的调试

在完成所有的灯具安装后，就开始进行调试。在开始调试之前，一定要仔细检查所有灯具的连线是否正确，安装是否牢固，电源功率、线路、灯具的供电线路是否正确。如果以上所有条件都正常，就可以进行调试。调试工作一般由专业的工程技术人员进行。现在将一些现场调试经验提供给大家参考。

1）模块的调试方式 不要一次性把所有的电源供电都送上，采用分模块的方式，这样可以减少误操作的损失。在通电前仔细检查电源的正负极性，检查负载是否存在短路，随身携带一个万用表，以便检查各电源的工作电压是否正常。

2）调试电源模块 系统的工作正常首先是电源的正常工作，第一步要检查的就是电源模块。如果发现电源不正常，则一定要检查电源的接线有没有问题，确定是电源的问题还是负载的问题，不要盲目更换。最好用替换法快速找出故障点（用备用的电源和灯体，测试其线路有没有问题）。不能带电操作，否则不仅会造成产品损坏，重者还会造成人身伤害。

3）调试信号控制模块 电源正常工作后，接上信号控制器，就可以对系统进行全面调

试。如果系统在安装以前通过测试，则信号测试就比较简单。主要是通过目测法和更换法进行测试。现在以 LED 数码管为例进行简单的说明：将 LED 数码管接通信号控制器，发现系统不能工作，问题可能出在以下几个地方。

（1）信号控制器本身：首先可以找一个好的 LED 数码管接上信号控制器，如果能够正常工作，就说明是 LED 数码管的问题，反之就是信号控制器的问题。

（2）LED 数码管问题：LED 数码管出现问题不急着更换，可以先检测一下信号连接头是否接触良好，开关电源是否工作正常。这两项正常后，才进行更换。通常，通信信号采取级联的方式，如果信号不能流通，只要检查当前 LED 数码管和下一支 LED 数码管就行了。

（3）DMX 信号控制器本身：首先可以找一个好的 DMX LED 数码管接上 DMX 信号控制器，如果 DMX 信号控制器能够对 DMX LED 数码管进行写码操作，且写码之后 DMX LED 能够正常工作，就说明原来的 DMX LED 数码管有问题。在调试过程中直接将 DMX LED 数码管更换就行了。如果写码操作不正常，则更换 DMX 信号控制器。

（4）DMX LED 数码管问题：DMX LED 数码管出现问题不急着更换，可以先检测一下信号连接头是否接触良好，开关电源是否工作正常。这两项正常后，才进行写码操作。通常，通信信号采用并联的方式，如果信号不能流通，只要检查当前 DMX LED 数码管就行了，将不能写码的 DMX LED 数码管更换。



☺ DMX512 协议 LED 数码管如果产生写码不成功的情况，笔者建议可以在工厂进行写码，并在 LED 数码管上标上安装位置的编号。

☺ LED 数码管、LED 点光源、LED 像素灯条，普遍使用 SPI 串行与 DMX512 协议。常见 LED 控制器国产品牌有思域、欣博莱特、奥美、裕明鑫、宇通等。

6．完成工程和定期维护

以上所有的工作完成后就可以投入正常的运行了，如果在运行或维护中发现问题，就需要不断地改进和升级 LED 产品，使 LED 产品的功能、效果和稳定性更加完美。

LED 照明设计与应用（第3版）

第10章

LED 驱动电路

10.1 LED驱动技术

LED驱动电源是把电源供应转换为特定的电压、电流以驱动LED发光的电压转换器。通常情况下，LED驱动电源的输入包括市电、低压直流、高压直流、低压高频交流等。而LED驱动电源的输出则大多数为可随LED正向压降值变化而改变电压的恒定电流源。

10.1.1 LED驱动的技术方案

根据电网的用电规则和LED驱动电源的特性要求，在选择和设计LED驱动电源时要考虑以下问题。

（1）高可靠性。LED路灯或其他室外照明灯具的驱动电源装在高空，维修不方便，维修的花费也大。

（2）高效率。LED驱动电源的效率高时耗损功率小，LED照明灯具内的发热量就小，也就降低了LED照明灯具的温升，对延缓LED光源的光衰有利。

（3）驱动方式。现在通行的LED照明灯具驱动方式有两种：其一是恒压恒流源供给LED照明灯具工作，每个恒压恒流源给LED照明灯具供电；另一种是直接恒流源供电，LED串联或并联运行。怎样选择启动方式要根据实际需要决定。目前高压小电流恒流源输出供电方式在成本和性能方面会较好，是目前发展的主流方向。

（4）浪涌保护。LED光源抗浪涌的能力是比较差的，特别是抗反向电压能力。因此LED驱动电源要有抑制浪涌的侵入、保护LED光源不被损坏的能力。LED电源交流输入端浪涌保护，一般采用压敏电阻（MOV）或加气体放电管（GDT/SPG）或两者结合实现。

（5）其他要素。提高LED电源功率因数；增加LED温度负反馈功能；LED电源要做到防水、防潮，耐高温；LED驱动电源的寿命要与LED光源的寿命相适配；LED驱动电源要符合安规和电磁兼容的要求。

（6）LED电源防雷。防雷是指通过组成拦截、疏导最后泄放入地的一体化系统方式，以防止由直击雷或雷电的电磁脉冲对建筑物本身或其内部设备造成损害的防护技术。LED电源采用电源防雷器（SPD）防雷，电源防雷器是通过现代电学及其他技术来防止被雷击中的设备。

1．按驱动方式分类

1）恒流式

☺ 恒流驱动电路输出的电流是恒定的，而输出的直流电压却随着负载阻值的大小不同在一定范围内变化。负载阻值小，输出电压就低；负载阻值大，输出电压就高。

☺ 恒流电路不怕负载短路，但严禁负载完全开路。

☺ 恒流驱动电路驱动LED光源是较为理想的，但相对而言价格较高。

☺ 应注意所使用最大承受电流及电压值，它限制了LED光源的使用数量。



（1）若恒流驱动电路输出端出现异常，造成产品正、负极短路，恒流驱动电路会启动短路保护功能，不会因为异常造成恒流驱动电路永久性损坏。

（2）当 LED 灯串联的 V_F 值在恒流驱动电路设计电压范围内时，输出电流恒定不变；当 LED 灯串联的 V_F 值超过恒流驱动电路设计电压范围时，电源进入过载保护，灯呈闪烁现象。

（3）恒流驱动电路使用温度超过设计温度时，驱动 IC 电流呈线性下降，以保证恒流驱动电路不损坏，同时 LED 灯会持续发光。

2）恒压式

☺ 当恒压电路中的各项参数确定以后，输出的电压是固定的，而输出的电流却随着负载的增减而变化。

☺ 恒压电路不怕负载开路，但严禁负载完全短路。

☺ 以恒压驱动电路驱动 LED 光源，每串需要加上合适的电阻，才能使每串 LED 光源显示亮度平均。

☺ 亮度会受整流而来的电压变化的影响。

3）恒流恒压

☺ 恒流恒压电源在负载发生变化的情况下，努力使输出电压保持稳定，输出电流必须小于恒流电流值。

☺ 恒压输出时，恒流源处于休止状态，不干扰输出电压和输出电流。

☺ 恒流输出时，恒压源处于休止状态，不再干预输出电压的高低。



（1）可以通过电源铭牌找到输出电压参数，如果输出电压是恒定的电压值（如 DC 5V、12V、24V 等），则为恒压源。如果输出电压标称为一个电压范围，则为恒流源。

（2）恒流恒压 LED 驱动电源具有恒压（CV）和恒流（CC）特性，既可以工作在恒压（CV）方式，也可以工作在恒流（CC）方式。

2．按电路结构方式分类

1）阻容降压方式 如图 10-1 所示，利用电容在一定的交流信号频率下产生的容抗来限制最大工作电流。通过电容进行降压，泄放电阻保证在规定的时间内泄放掉电容上的电荷。在闪动使用时，由于充放电的作用，通过 LED 光源的瞬间电流极大，容易损坏芯片；易受电网电压波动的影响，电源效率低，可靠性低。阻容降压是一种非隔离电源，在应用上要特别注意隔离，防止触电。

2）电阻降压方式 通过电阻降压，受电网电压变化的干扰较大，不容易做成稳压电源，降压电阻要消耗很大部分的能量。所以这种供电方式电源效率很低，而且系统的可靠性也较低，如图 10-2 所示。电阻降压在降压电阻上的功耗可能大于负载上的功耗。

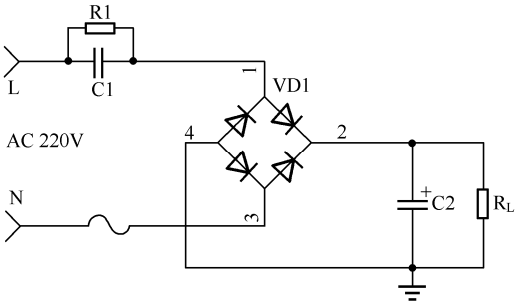


图 10-1　阻容降压方式

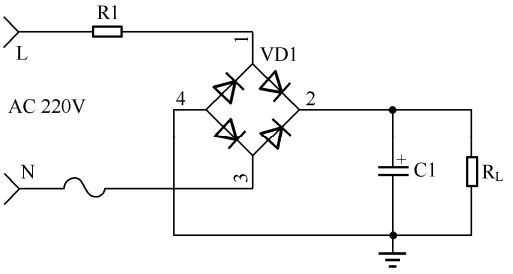


图 10-2　电阻降压方式

3）常规变压器降压方式　电源体积小，质量偏大，电源效率也很低，一般只有 45%～60%，所以一般很少用，可靠性不高，如图 10-3 所示。

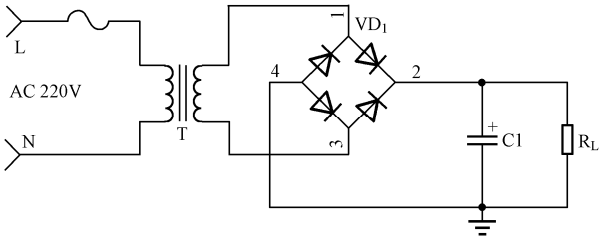


图 10-3　常规变压器降压方式

4）电子变压器降压方式　电源效率较低，电压范围也不宽，一般为 AC 180～240V，纹波干扰大，如图 10-4 所示。电子变压器是一种逆变器，将交流电变为直流电，然后通过电子元件组成一个振荡器将直流电变为高频交流电，再通过开关变压器输出所需要的电压，最后通过二次整流提供能源。

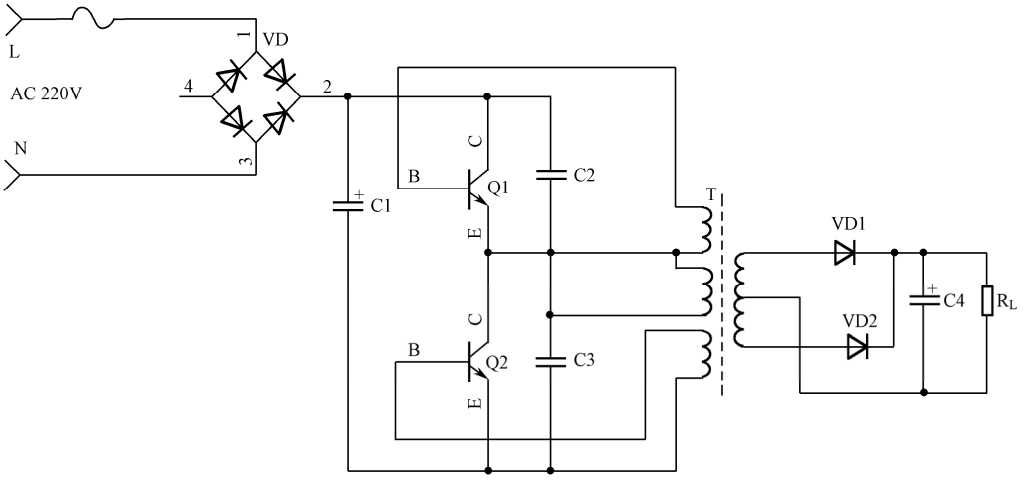


图 10-4　电子变压器降压方式

5）RCC 降压方式开关电源　稳压范围比较宽，电源效率比较高，一般可以做到 70%～80%，应用也较广。其振荡频率不连续，开关频率不容易控制，负载电压纹波系数也比较

大，异常负载适应性差，如图 10-5 所示。

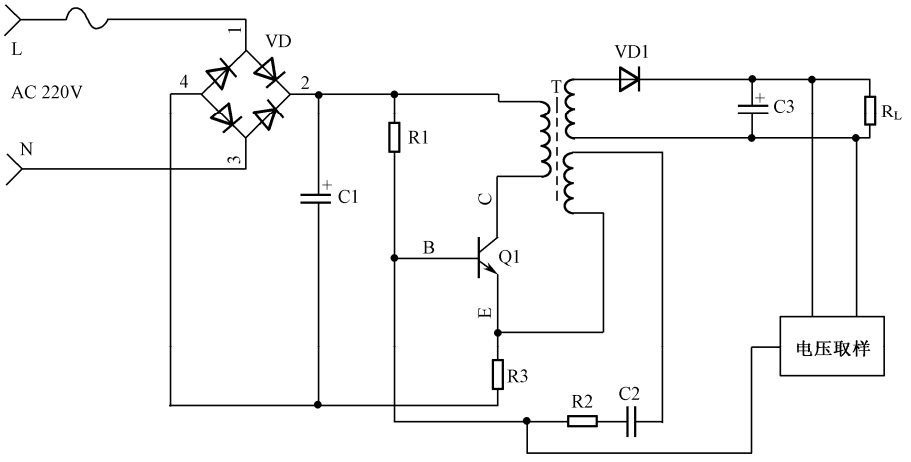


图 10-5　RCC 降压方式开关电源

6）PWM 控制方式开关电源　PWM 的开关频率一般为恒定，控制取样信号有输出电压、输入电压、输出电流、输出电感电压、开关器件峰值电流。PWM 控制方式开关电源主要由 4 部分组成，即输入整流滤波部分、输出整流滤波部分、PWM 稳压控制部分、开关能量转换部分。PWM 开关稳压的基本工作原理就是在输入电压、内部参数及外接负载变化的情况下，控制电路通过被控制信号与基准信号的差值进行闭环反馈，调节主电路开关器件导通的脉冲宽度，使开关电源的输出电压或电流稳定（即相应稳压电源或恒流电源）。电源效率极高，一般可以做到 80%～90%，输出电压、电流稳定。一般这种电路都有完善的保护措施，属高可靠性电源，如图 10-6 所示。

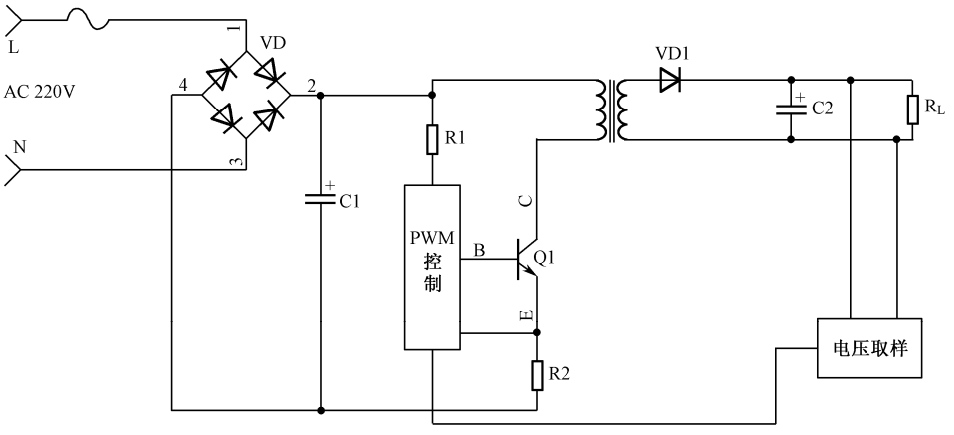


图 10-6　PWM 控制方式开关电源

从以上介绍可以看出，PWM 控制方式设计的 LED 电源是比较理想的 LED 电源。目前市面上 LED 开关电源就是 PWM 控制技术的开关电源，该类 LED 电源经用户使用后反映效果很好。

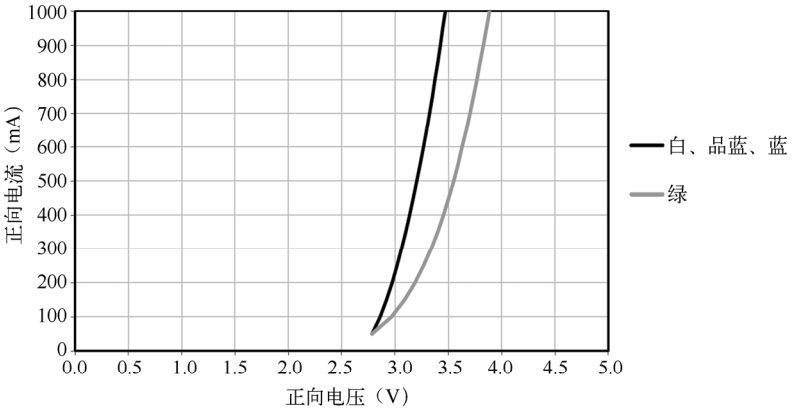
10.1.2 LED 驱动器的特性

随着 LED 在装饰照明、室内照明及户外照明中的普遍使用，LED 驱动器显得越来越重要。用高压交流电驱动 LED 照明灯具需要解决降压和恒流问题，还要具备整个 LED 驱动器的可靠性，在 LED 绿色照明领域，要体现节能，又要具备较高的转换效率与功率因数等。在正常使用情况下 LED 的寿命很长，要使整个 LED 照明灯具寿命很长，在电路设计时应考虑整个 LED 驱动器的寿命等问题。目前，市面上多数户外 LED 驱动电源防水等级达到 IP67，同时也要求其工作温度在设计值内，温度的改变也能致使 LED 驱动电源输出电流偏移。

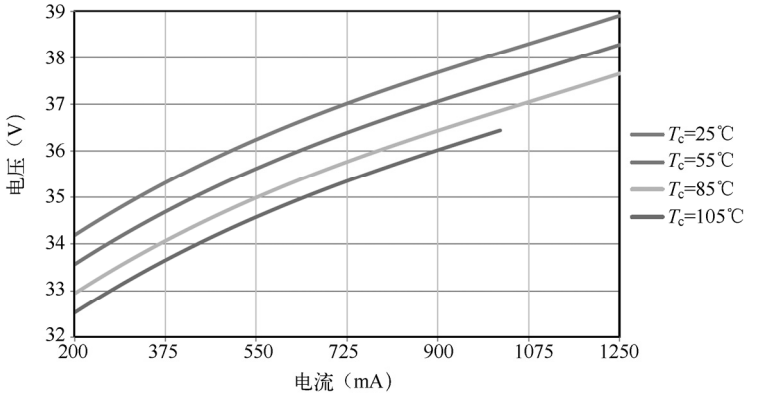
在 LED 照明领域，要体现节能和长寿命的特点，选择 LED 驱动器至关重要，没有好的驱动器匹配，LED 照明的优势就无法体现。

1．驱动器需要适合 LED 的工作特性

由图 10-7 可知，LED 光源是低电压、大电流的驱动器件，当 LED 光源电压变化很小时，电流变化很大。其 LED 光源发光的强度由流过 LED 光源的电流决定，电流过强会引起 LED 光源的衰减，电流过弱会影响 LED 光源的发光强度。因此，LED 光源的驱动需要提供合适的恒流电源，以保证大功率 LED 光源使用的安全性，同时达到理想的发光强度。



（a）CERR单颗LED的工作特性



（b）CERR COB LED的工作特性

图 10-7　LED 的工作特性

LED 驱动器要保持恒流特性，尤其在电源电压发生 AC 85～265V 的波动时，仍能保持输出电流在±10%的范围内波动。LED 驱动器自身功耗要低，LED 驱动器的转换效率要保持在高水平状态。



在散热设计时需充分考虑 LED 封装内部热阻、外部导热热阻、功率损耗和环境温度。

恒电流电源产品提供的是一个脉冲的恒电流电源，其电流脉冲的频率和占空比可以调整，该驱动器提供恒定的电流充分可控。由于采用脉冲供电，LED 光源处于间歇工作的状况，所以 LED 灯体温升比较慢，延长了大功率 LED 光源的使用寿命。另外，该驱动器是高频工作，充分利用了 LED 光源内荧光粉的余辉效应，不但不会有光的闪烁现象，还进一步提高了 LED 光源的发光效率。

过大工作电流会使 LED 灯珠结温过高，造成 LED 灯珠光衰。在选择工作电流时要考虑到相应 LED 灯具散热模组是否满足 LED 灯珠散热要求，根据散热器散热情况选择合适的 LED 灯珠工作电流。LED 灯珠损坏主要是通过 LED 灯珠电流过大使芯片内部过热造成的。



（1）在选择恒电流电源时，应考虑到恒电流电源输出电压的余量。若 LED 灯珠正向电压和等于 LED 光源串联个数 × V_F，即 $n \times V_F$（V），则选择的恒电流电源的输出电压下限要比 $n \times V_F$（V）小，输出电压上限要比 $n \times V_F$（V）大。避免因 LED 灯珠正向电压不一致，超出恒电流电源输出电压范围，使得恒电流电源无法正常工作于恒流状态。

（2）LED 光源的 V_F 值随温度变化而变化，在恒流源供电时，高温时 V_F 值变小，低温时 V_F 值变大。要求 LED 恒流源在高温工作时输出电压小于 LED 光源串联个数 × V_F（nV_F，V），LED 恒流源在低温工作时输出电压大于 LED 光源串联个数 × V_F(nV_F，V)。

（3）电源输出功率尽量与 LED 照明灯具功率合理匹配，如果 LED 电源是非隔离的电源，使用前先接好负载，然后通电测试。

2．高可靠性

目前，照明用的大功率 LED 光源价格高，LED 光源驱动可靠性低，制约着 LED 照明的发展。在科技工作者的努力下，LED 价格已达到亲民的价格，同时 LED 寿命很长。目前总体 LED 驱动可靠性越来越好，使 LED 照明灯具得到了更大范围的推广应用。根据设计和实际用户应用的要求，开发更多功能的 LED 驱动电源，来提高整个 LED 驱动行业的品质，提高 LED 驱动电源的可靠性。确保 LED 驱动电源寿命就必须加大 LED 驱动电源功率余量，余量通常加到 LED 驱动电源工作功率的 1.5～2 倍。

1）开路保护与短路保护 在实际安装工程中，有可能在没有连接大功率 LED 时整个电源已经通电。之前，很多 LED 驱动长时间处于开路状态或短路，会造成整个电源破坏，所以增加了开路与短路保护。



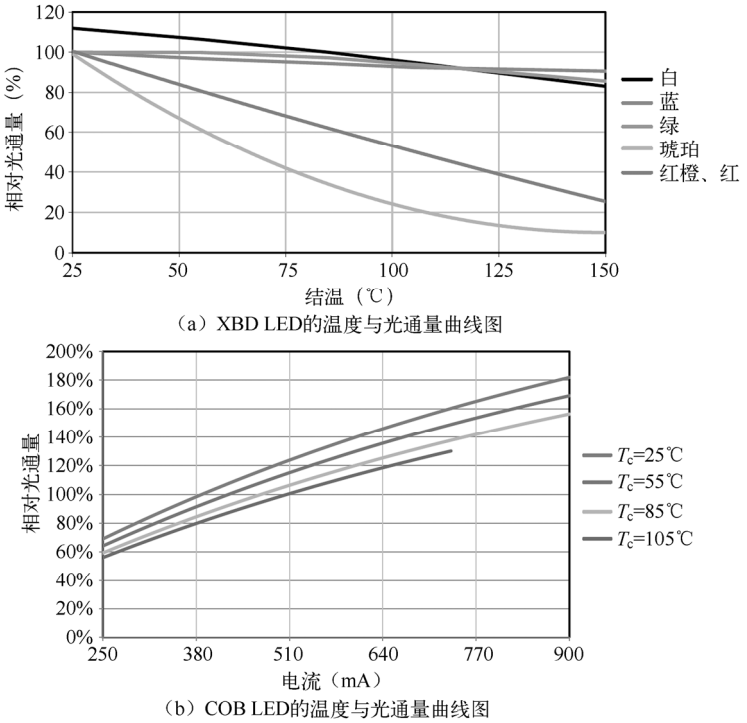
（1）开路保护是指 LED 驱动电源正常工作状态下断开负载，其输出电压恒压在一定值或者电压慢慢变小，重新接上 LED 负载能正常工作。

（2）短路保护是指 LED 驱动电源正常工作状态下输出端短路，其输出电流为“0”。取消了短路故障后，LED 驱动电源正常工作。

（3）过载保护是指 LED 驱动电源，负载在设计范围内，输出电流会恒定不变，当输出端负载超出设计范围时，LED 驱动电源进入保护状态，LED 灯具会出现闪烁现象。

2）过温保护 有一些照明企业电子工程师认为 350mA 的 LED 一定要做到恒流 350mA 才行，700mA 的 LED 一定要配 700mA 的驱动才最佳，由图 10-8 可知，其观点是错误的。LED 可承受的最大工作电流与其工作的环境温度有关；随着环境温度的升高，LED 可承受的最大工作电流会下降。在设计时，考虑到灯体有可能达到 50℃，故功率为 3W、额定电流为 700mA 的大功率 LED 驱动设计电流为 600mA 左右。

LED 结温为 25℃时，LED 的光通量达到最大；随着温度升高，LED 的光通量会下降；LED 结温升高到 50℃时，LED 的光通量下降到原来的 90%左右；LED 结温升高到 75℃时，LED 的光通量下降到原来的 85%左右；环境温度升高时，要降低电流，以降低 LED 的热量。CREE 公司 LED 的温度与光通量曲线图如图 10-8 所示。



（a）XBD LED的温度与光通量曲线图

（b）COB LED的温度与光通量曲线图

图 10-8 CREE 公司 LED 的温度与光通量曲线图



☺ 一般来说，随着电流的增大，光强会随着增大，当增大到某一值时，光强增加不明显。

☺ 在恒流输出中增加 LED 温度负反馈，防止 LED 温度过高。

☺ LED 光通量与温度成反比，应尽量减少 LED 驱动器发热并设计良好的散热系统，以降低 LED 工作环境温度。LED 结温过高将影响光通量和光源寿命。

3）浪涌保护 在实际应用中，由于电网负载的启用和雷击的感应，从电网系统会侵入各种浪涌，有些浪涌会导致 LED 损坏。有可能存在电网的浪涌电压。尤其在雷雨季节，雷电的浪涌电压会通过导线（电线）传导。在设计 LED 驱动电源及 LED 照明灯具时，要考虑在整个产品上加上浪涌发生器，避免在工作异常时，造成 LED 驱动电源及 LED 的破坏。在一些工厂或供电质量不好的地方，LED 照明灯具一定要注意防浪涌工作，耐压电压大于 6kV。



☺ LED 驱动电源的输入端要有抑制浪涌的保护电路，避免开关瞬间损坏 LED。

☺ LED 恒流源主要参数是输出电流的大小，其输出电流的精度会对 LED 的亮度产生影响。若是大批量生产，一定要注意电流精度，电流精度不一致，会使整批 LED 照明灯具的亮度不均匀。

4）隔离保护 LED 是低电压产品，而整个 LED 照明灯具产品又是高压的，所以在安装及运用中，考虑人体的安全性，整个电路需要隔离。在出口欧洲的电源产品中，必须是隔离电源，这样才能符合 LED 照明灯具的安全性。

3．高功率因数

功率因数是加在负载上的电压和电流波形之间的相角余弦。当加在负载上的电压和电流波形相位一致时（即相角差$\varphi=0°$），功率因数 $\cos\varphi=1$ 是理想的情况；当加在负载上的电压和电流波形相角差为 90° 时（即$\varphi=90°$），则功率因数等于零（处于最小值）；通常，电源的功率因数为 0～1，即 $0\leqslant\cos\varphi\leqslant1$，可用百分数表示。



若电压波形与电流波形的相角差为φ，则 $\cos\varphi$便是电源的功率因数。

加在负载上的电压和电流波形之间存在相位差导致的结果之一是供电效率降低，即产生所要求的电力需要输入更大的电力。另外一个结果是更严重的后果，即电压和电流的波形差产生过多的高次谐波。大量的高次谐波反馈到主输入线（电网），造成电网被高次谐波污染成为恶性事故的隐患。同时，这种高次谐波也会扰乱控制系统中的敏感低压电路。目前，要求 LED 照明灯具电源的 THD（总谐波失真）小于或等于 20%。LED 电源有 PFC 设计，PF

值一般会做到0.9以上，没有PFC设计，PF值为0.5～0.8。

随着低碳生活理念的深入人心，LED照明灯具的发展日趋成熟，“功率因数”的指标是LED电源驱动行业的重要参数，交流系统中实际功率等于视在功率乘以功率因数。功率因数对电网有影响，是电网考核用电设备的数据。



☺ 灯功率在2～5W之间时，要求功率因数大于0.4；功率在5～25W之间时，要求功率因数大于0.5；功率在25W以上时，要求功率因数大于0.9。

☺ LED照明灯具的总功率等于LED灯板的功率除以LED驱动电源的转换效率。

☺ 功率因数、谐波、效率参数测试条件：输入电压AC 230V、90%负载、环境温度25℃、湿度50%。

☺ LED照明灯具电源的THD（总谐波失真）可以达到小于或等于10%，调光类电源的THD（总谐波失真）可以达到小于或等于15%。

4．高效率

电源效率用于衡量输入电源的交流有功功率（输入功率）有多少转化为直流功率（输出功率）。在RC（阻容）电路中，驱动1W的LED需要9.6W的输入功率，整个效率才10%左右。现在，在AC 220V工作条件下，输入电流仅为11mA，驱动CREE公司的XBD的LED，输出电流为600mA，电压为3.3V，整个输入功率为2.42W，输出功率为1.98W，功率因数为0.95，整个电源的效率达到81%左右。目前LED驱动电源效率都能达到85%左右，在调整一些元件参数的情况下，则LED驱动电源效率能达到90%左右。LED电源的效率高，其耗损功率小，在LED灯具内发热量就小，降低了LED灯具的温升，延缓LED光源的光衰。



（1）LED电源效率计算。给电源加上额定负载，测量流过负载的电流和电压，两者相乘得到电源输出功率 P_o；用功率测量仪表测量电源的有效输入电流和有效输入电压，两者相乘得到电源输入功率 P_{in}，LED电源效率等于 $P_o/P_{in}\times 100\%$。

（2）$P_{in}=U_o\times I_o/\eta$，$P_{in}$ 为输入功率（总功率，单位：W）；U_o 为输出电压，等于LED光源串联个数 × V_F（单位：V）；I_o 为输出电流，等于LED光源并联数量 × I_F（单位：A或mA）；η 为电源转换效率（%）。

（3）LED灯具光效=LED光源光效 × 热损失效率 × 电源效率 × 透镜反射效率（%）。

（4）LED电源耐压测试：I/P-O/P：3kV AC，<5mA 60s；I/P-FG：1.5kV AC，<5mA 60s；O/P-FG：0.5kV AC，<5mA 60s。

（5）LED电源绝缘阻抗测试：I/P-O/P、I/P-FG、O/P-FG，500V DC，>100MΩ。

5．长寿命

LED是半导体材料，在一定的条件下，寿命可达10万小时。而整个LED照明灯具如

果有如此长的使用时间，则整个电源的结构要改变。决定 LED 驱动电源寿命的因素是多方面的，要使用较高寿命的电容，提高电源效率，尽量做好电源的散热，同时也要优化 LED 照明灯具的散热设计。

传统电源在输入端都有高压电解电容，好的高压电容最长寿命不到 10000h，正常为 4000h 与 8000h。在 LED 照明领域如果考虑传统的电源方式，则其寿命会很短。在设计时应采用金属电容，因为金属电容中无电解液，整个电容寿命达 50000h，通过这个改变，新一代 LED 驱动至少能达到 30000h，从而符合整个 LED 照明灯具的需求。当 LED 驱动电源外壳温度达到 40℃、50℃、60℃、70℃、80℃、85℃、90℃时，计算 LED 电源的寿命，如图 10-9 所示。LED 驱动电源外壳温度用 T_c 表示。

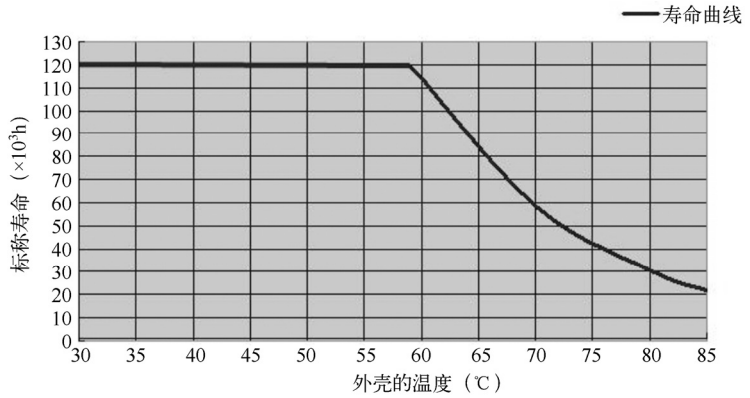


图 10-9　计算 LED 电源的寿命



☺ 电解电容的寿命取决于电容本身的寿命及工作温度，电解电容在不同的温度下其工作寿命差异很大。

☺ MTBF 即平均无故障时间，是衡量一个产品可靠性的指标，单位为“小时”。其数值可查阅电源规格书。

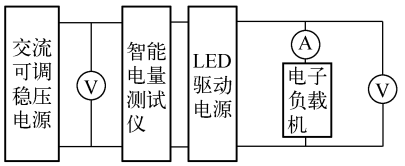
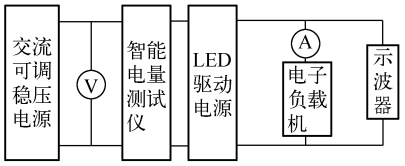
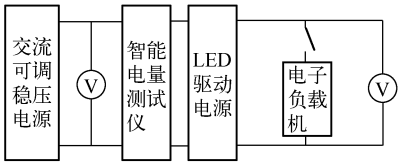
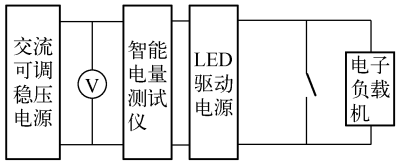
通过相关分析，在相同电流下，脉冲需要的 LED 灯体散热结构会小一些，近一步减小了 LED 照明成本的压力。

LED 照明驱动要满足 LED 的特性及相关节能的指标。相信在不久的将来，随着大功率 LED 的发展，LED 驱动电源设计也将随之得到革新，新一代 LED 驱动器的设计理念进一步推广，LED 照明灯具完全取代传统照明将会很快成为现实。

在结构设计上既要考虑 LED 光源散热问题，又要考虑 LED 驱动电源的散热问题。在设计 LED 照明灯具时要考虑 LED 驱动电源安装位置的重要性，既要能够将 LED 驱动电源工作产生的热量散出，又要避免 LED 模组工作产生的热量叠加在 LED 驱动电源上，影响 LED 驱动电源的正常寿命。

LED 驱动电源检测规范如表 10-1 所示。测试 LED 驱动电源的仪器设备有接地测量仪、绝缘测量仪、耐压测量仪、智能交流电源、万用表、电子负载机、数字电流表、示波器等。

表 10-1　LED 驱动电源检测规范

序号	检 测 项 目	示　意　图	说明或备注
1	输入电压、输入电流、输出电压、输出电流、输出功率、功率因数、效率、待机功耗、恒流精度		输入电压调整到额定值的 85%和 110%，分别在稳定 2min 后，测出并记录测试值。 智能电量测试仪可以读取功率因数
2	输出电压纹波及噪声试验		
3	恒流输出驱动器负载开路保护试验		当 LED 驱动电源输入电压值达到某一个电压时，LED 驱动电源输出显示为额定输出，则此时的输入电压即为空载启动电压
4	恒流输出驱动器负载短路保护试验		LED 驱动电源在正常工作时，人为将 LED 驱动电源输出电压短路，产品应能自动保护，故障消除后重新启动或自动恢复，LED 驱动电源应正常工作
5	元器件温升		在 LED 驱动电源输入电压为额定电源，LED 驱动电源输出负载为满载的情况下，连续工作 30min 后，测量关键器件最差温升点的温度，测量温度和环境温度的差即为温升
6	高温耐久性试验		通电 LED 驱动电源加额定负载，试验温度为最高额定工作温度，相对湿度保持在 90%±2%，试验持续时间为 2h，恢复时间为 2h。 在试验过程中，确认并记录 LED 驱动电源的试验状态，工作无异响、异味等异常现象
7	耐压及漏电流测试		根据 LED 驱动电源耐压的要求，用耐压测试仪分别对 LED 驱动电源进行测试，包括输入对外壳、输入对输出、输出对外壳的耐压。 泄漏电流测试仪给 LED 驱动电源供电，并把泄漏电流测试仪供给 LED 驱动电源工作电压提高到 LED 驱动电源输入电压最大值，此时泄漏电流值即为 LED 驱动电源的泄漏电流值
8	传导与辐射		按有关国家标准和方法进行试验
9	耐久性测试		按国家标准 GB 19510.14《灯的控制装置第 14 部分：LED 模块用直流或交流电子控制装置的特殊要求》方法进行试验。 按国家标准 GB/T 24825—2009《LED 模块用直流或交流电子控制装置 性能要求》第 13 章方法进行试验

10.1.3 LED 与 LED 驱动器的匹配

LED 已经广泛应用于照明、装饰类等照明灯具。在设计 LED 照明灯具时，需要考虑选择合适的 LED 驱动器及与之配套的 LED 负载的串并方式。只有采用合理的 LED 串并方式配合设计，才能保证 LED 驱动器正常工作。

1. LED 采用全部串联方式

要求 LED 驱动器输出较高的电压。当 LED 的一致性差别较大时，分配在不同的 LED 两端电压不同，通过每颗 LED 的电流相同，LED 的亮度一致，如图 10-10（a）所示。

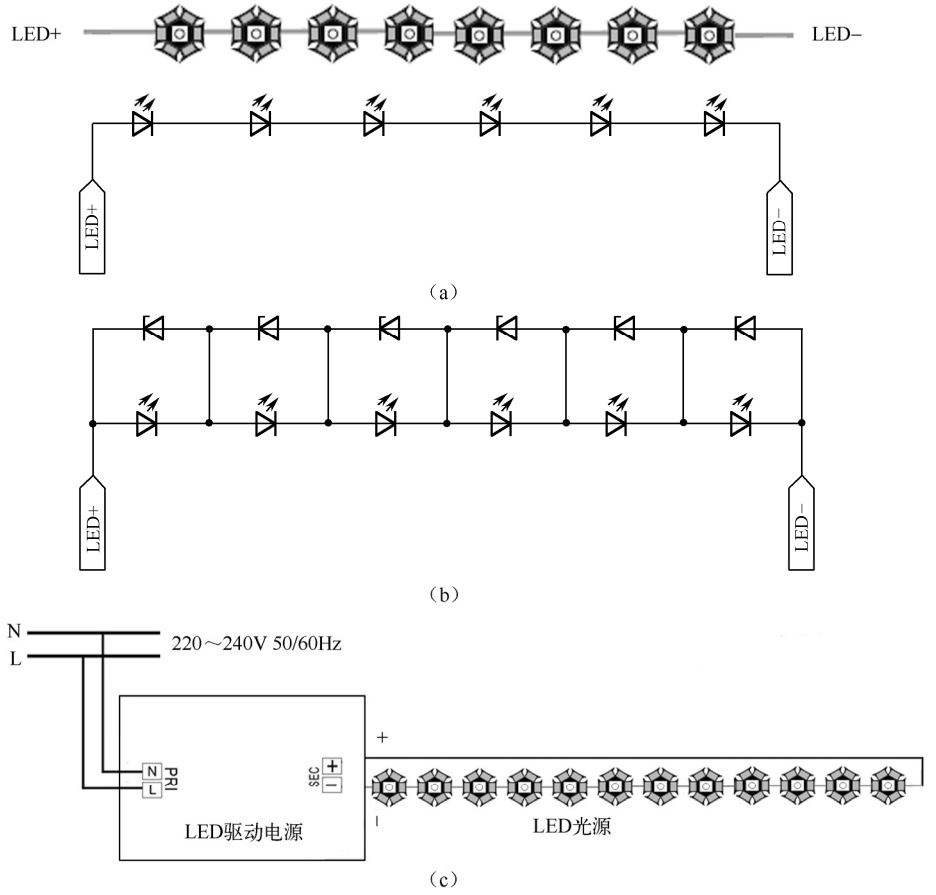


图 10-10　LED 串联方式

当某一颗 LED 品质不良短路时，如果采用稳压式驱动（如常用的阻容降压方式），则由于驱动器输出电压不变，那么分配在剩余的 LED 两端电压将升高，驱动器输出电流将增大，容易损坏余下所有的 LED。如果采用恒流式 LED 驱动，则当某一颗 LED 品质不良短路时，驱动器输出电流保持不变，不影响余下所有 LED 的正常工作。

当某一颗 LED 断开后，串联在一起的 LED 将全部不亮。解决办法是在每个 LED 两端

并联一个齐纳二极管（稳压二极管）。当然齐纳二极管的导通电压需要比 LED 的导通电压高，否则 LED 就不亮了，如图 10-10（b）所示。目前已经将齐纳二极管封在 LED 内。三根金线 LED 是齐纳二极管的焊线部分，和晶片电路并联使用。

串联电路需要电源提供较高的电压，同一个串联电路中的 LED 亮度均匀。当同一串 LED 发生开路故障后，LED 全部不亮。

$$V_{总}=\text{各 LED 的 } V_F \text{ 之和}=V_{F1}+V_{F2}+V_{F3}+V_{F4}+\cdots+V_{FN} \quad (10\text{-}1)$$

$$I_{总}=\text{单颗 LED 的 } I_F \text{ 值} \quad (10\text{-}2)$$

为了能有效控制流过 LED 灯的电流，采用开关电源供电时须在电路中配置适当的限流电阻。

$$R=(V_{\text{输入电压}}-V_{\text{LED 总电压}})/I_{\text{（流过 LED 的电流）}} \quad (10\text{-}3)$$

限流电阻的作用主要是控制 LED 的电流，使电压更平滑，并使各并联支路的亮度更均匀。限流电阻阻值大效果较好，但是限流电阻的取值也不能太大，否则会增加电能的损耗并使元件温度升高。

2．LED 采用全部并联方式

要求 LED 驱动器输出较大的电流，负载电压较低。分配在所有 LED 两端的电压相同，当 LED 的一致性差别较大时，通过每颗 LED 的电流不一致，LED 的亮度也不同。可挑选一致性较好的 LED，适用于电源电压较低的产品（如太阳能或电池供电），如图 10-11 所示。

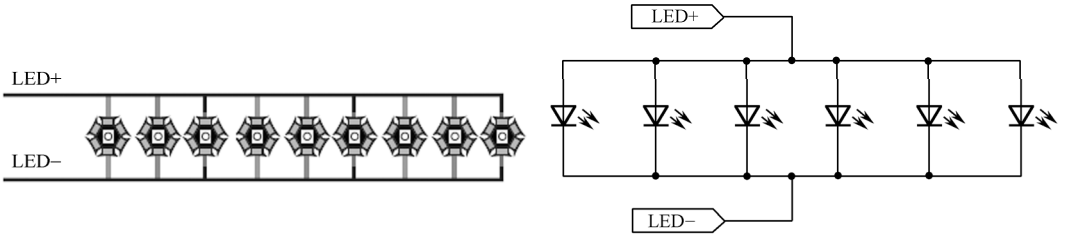


图 10-11　LED 并联方式

当某一颗 LED 断开时，如果采用稳压式 LED 驱动（如稳压式开关电源），则驱动器输出电流将减小，而不影响余下所有 LED 正常工作。如果采用恒流式 LED 驱动，由于驱动器输出电流保持不变，故分配给余下 LED 的电流将增大，容易损坏所有 LED。解决办法是尽量多并联 LED，当断开某一颗 LED 时，分配给余下 LED 的电流不大，不影响余下 LED 的正常工作。所以功率型 LED 做并联负载时，不宜选用恒流式驱动器。

当某一颗 LED 品质不良短路时，所有的 LED 将不亮，但如果并联 LED 数量较多，则通过短路的 LED 电流较大，足以将短路的 LED 烧成断路。

并联电路需要电源能提供较大的电流。

$$V_{总}=\text{单颗 LED 的 } V_F \text{ 值} \quad (10\text{-}4)$$

$$I_{总}=\text{各 LED 的 } I_F \text{ 之和}=I_{F1}+I_{F2}+I_{F3}+I_{F4}+\cdots+I_{FN} \quad (10\text{-}5)$$

3．LED 采用混联方式

在需要使用比较多 LED 的产品中，如果将所有 LED 串联，则将需要 LED 驱动器输出较高的电压；如果将所有 LED 并联，则需要 LED 驱动器输出较大的电流。将所有 LED 串联或并联，不但限制着 LED 的使用量，而且并联 LED 负载电流较大，驱动器的成本也会大增。解决办法是采用混联方式，如图 10-12 所示。

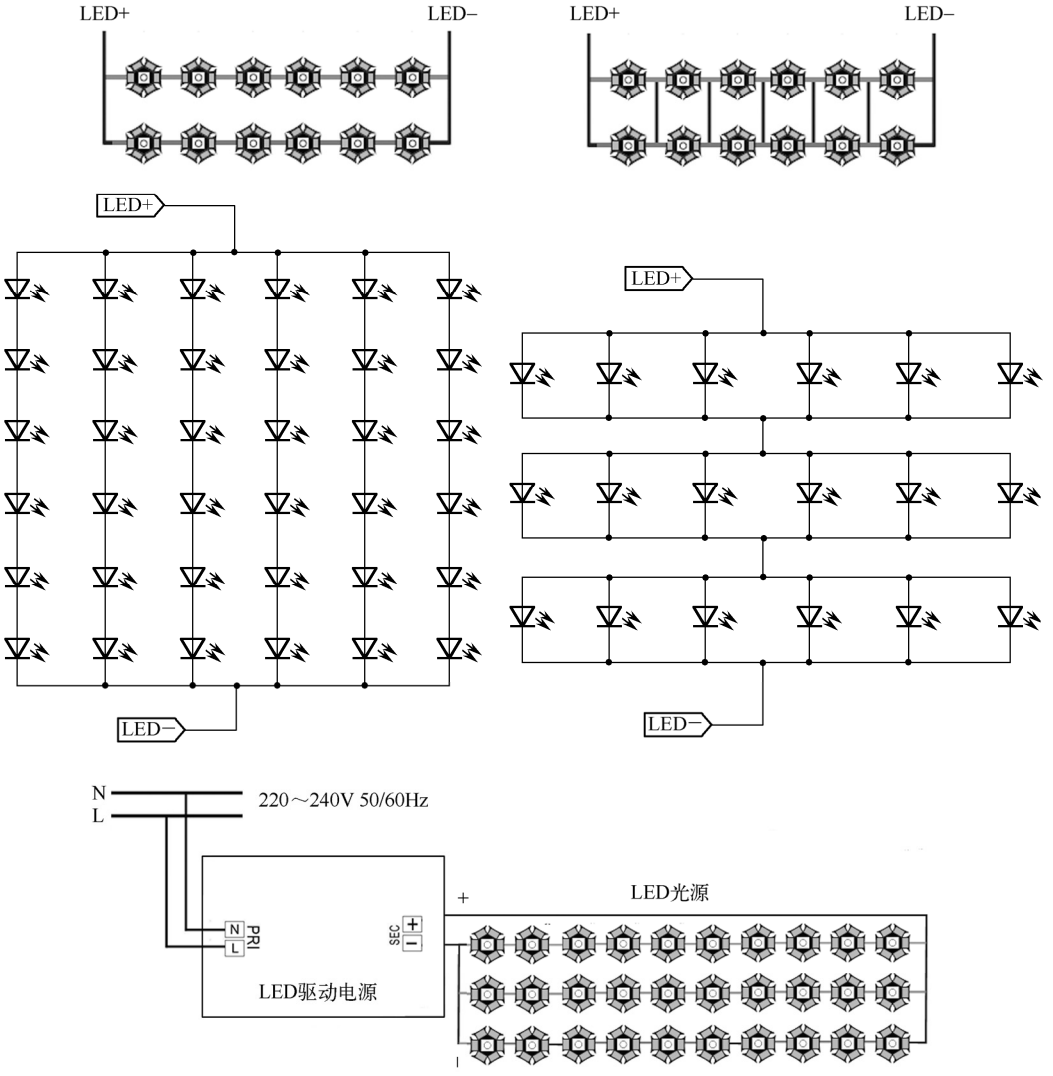


图 10-12　LED 混联方式

混联的 LED 数量平均分配，分配在一串 LED 上的电压相同，通过同一串每颗 LED 上的电流也基本相同，LED 亮度一致。同时通过每串 LED 的电流也相近。

当某一串 LED 上有一颗品质不良短路时，不管采用稳压式驱动还是恒流式驱动，该串 LED 相当于少了一颗 LED，通过这串 LED 的电流将大增，很容易损坏该串 LED。大电流通

过损坏的 LED 后，通过的电流较大，多表现为断路。断开一串 LED 后，如果采用稳压式驱动，则驱动器输出电流将减小，而不影响余下所有 LED 的正常工作。

如果采用恒流式 LED 驱动，驱动器输出电流保持不变，分配给余下 LED 的电流将增大，容易损坏所有 LED。解决办法是尽量多并联 LED，当断开某一颗 LED 时，分配给余下 LED 的电流不大，不至于影响余下 LED 的正常工作。

混联方式还有另一种接法，即将 LED 平均分配后，分组并联，再将每组串联在一起。

当某一颗 LED 品质不良短路时，不论采用稳压式驱动还是恒流式驱动，并联在这一路的 LED 将全部不亮。如果采用恒流式 LED 驱动，则由于驱动器输出电流保持不变，除了并联在短路 LED 的并联支路外，其余的 LED 正常工作。假设并联的 LED 数量较多，驱动器的驱动电流较大，则通过这颗短路 LED 的电流将增大，大电流通过短路的 LED 后，很容易就变成断路。由于并联的 LED 较多，断开一颗 LED 的并联支路，平均分配电流不大，所以依然可以正常工作。

如果采用稳压式驱动，则在 LED 品质不良短路瞬间，负载相当于少并联一路 LED，加在其余 LED 上的电压增高，驱动器输出电流将大增，极有可能立刻损坏所有 LED，幸运的话，只将这颗短路的 LED 烧成断路，驱动器输出电流将恢复正常。由于并联的 LED 较多，故断开一颗 LED 的并联支路，平均分配电流不大，依然可以正常工作，整个 LED 灯也仅有一颗 LED 不亮。

通过以上分析可知，驱动器与负载 LED 串并联方式的搭配选择是非常重要的，恒流式驱动功率型 LED 不适合采用并联负载，同样，稳压式 LED 驱动器不适合选用串联负载。



（1）对于大功率 LED 多路串联的方式，可以不必考虑 LED 的 V_F 值差异性的影响，亮度、光衰一致，提高灯具可靠性，无论是一组 LED 坏还是其中一组电源坏都不会出现熄灯的状况，但恒流电路部分的成本会增加。

（2）大功率 LED 的 V_F 值存在很大差异性，多颗 LED 并联使用会造成并联使用的各 LED 分流不均匀，进而造成发光一致性差。

（3）对于大功率 LED 的连接方式，是先并后串、先串后并还是多颗串联，要根据实际情况而定。

10.2 白光 LED 驱动技术

10.2.1 白光 LED 驱动器

传统光源的基础安装及供电的架构也可分成两大类：

（1）直接使用市电供电的白炽灯泡，目前已被 LED 球泡灯替代；采用 AC 直接输入、恒流输出的 LED 驱动器。

（2）从 AC 110V/60Hz 或 AC 220V/50Hz 转化成高频（20～60kHz）AC 12V 来供电的卤

素灯，即通过交流电子变压器由市电转化成 AC 12V 来供电。当转为 AC 12V 输出后，驱动电路便会采用桥式整流，将 AC 12V 转成 DC 电平，然后使用 DC 输入 LED 驱动器。



☺ 电源 IC 控制芯片具有防止短路、过压、过载、过温等保护功能。我国电源管理 IC 有昂宝、长运通、美芯晟、芯源、中芯微、启达等厂商，我国台湾地区有立锜、类比科技、致新、茂达、崇茂等厂商。

☺ 欧美国家电源管理 IC 有国家半导体、德州仪器、美信、飞兆、艾尔瓦特（iWatt）、安森美半导体、Intersil、理光、意法半导体等厂商。

1．白光 LED 驱动器的要求

白光 LED 驱动器是向白光 LED 供电的特殊电源，白光 LED 驱动正向压降一般为 3.0～3.5V，并根据白光 LED 驱动器的需要，对多个白光 LED 进行串联、并联或混联，以满足驱动多个白光 LED 对电源电流的要求。对驱动器的主要要求如下。

☺ 为满足便携式产品的低电压供电，驱动器应有升降压功能，以满足 1～3 节充电电池或 1 节锂离子电池供电的要求，并要求工作到电池终止放电为止。

☺ 驱动器应有高的功率转换效率，以提高电池的寿命或两次充电之间的时间间隔。目前功率转换效率高的可达 80%～90%，一般可达 70%～80%。

☺ 在多个白光 LED 并联使用时，要求各白光 LED 的电流相匹配，亮度均匀。

☺ 功耗低、静态电流小，并且有关闭控制功能，在关闭状态时一般静态电流应小于 1μA。

☺ 白光 LED 的最大电流 I_{LED} 可设定，使用过程中可调节白光 LED 的亮度（亮度调节）。

☺ 有完善的保护电路，如低压锁存、过压保护、过热保护、输出开路或短路保护。

☺ 小尺寸封装，并要求外围组件少而小，使所占印制电路板（PCB）面积小。

☺ 对其他电路的干扰影响小。

☺ 使用方便，价位低。

2．驱动器的分类

根据供电电压的高低可以将驱动器分成 3 类：由电池供电，电压一般低于 5V，主要用于便携式电子产品，驱动小功率及中功率白光 LED，它主要采用升压式 DC/DC 变换器或升压式（或升降压式）电荷泵变换器，少数采用 LDO 电路的驱动器；大于 5V 供电，如 DC 6V、DC 9V、DC 12V、DC 24V（或更高），由稳压电源或蓄电池供电，主要采用可升降压式 DC/DC 变换器；直接由市电（AC 110V 或 220V）或相应的高压直流电（如 DC 40～400V）供电，主要用于驱动大功率白光 LED，采用降压式 DC/DC 变换器驱动电路。

白光 LED 驱动电源的集成器件品种较多，大致分为恒流源、电荷泵和开关电源 3 种类型。

1）恒流源 恒流源的实质是利用器件对电流进行反馈，动态调节设备的供电状态，从而使得电流趋于恒定。只要能够得到电流，就可以有效形成反馈，从而建立恒流源。

在低电源电压的应用场合，多个白光LED都采用并联方式工作。此时，按照传统的设计方法，通常需为每只白光LED配置独立的限流电阻（R），借以克服白光LED正向压降一致性差及不可直接并联工作的弊端。不过目前多已改用集成恒流源为白光LED供电，以消除电源电压变动所造成的不利影响。MAX1916和LX1190是两种较为常见的恒流源集成电路。

2）电荷泵 电容式电荷泵通过开关阵列和振荡器、逻辑电路、比较控制器实现电压提升，采用电容器来储存能量。因工作于较高频率，可使用小型陶瓷电容器（1μF），占用空间最小，使用成本较低。电荷泵仅用外部电容器即可提供±2倍的输出电压。其损耗主要来自电容器的等效串联电阻（ESR）和内部开关晶体管的RDS（ON）。

白光LED的正向压降可以高达4V，但是目前大量的手持电子设备多以单一锂电池供电，此时已经无法再由设备电源直接驱动白光LED而必须借助于各类电源变换器件。可以用作白光LED驱动器的电源变换器件有很多种，其中以电压输出型电荷泵电路最为简单。此类典型的器件有LM3354型开关电容变换器。

白光LED以恒流源供电有利于抑制电源电压变动所造成的不利影响，目前也确有不少电流输出型电荷泵电路可供选用。电压输出型电荷泵有LTC3200、SC600，电流输出型电荷泵有LM2794、S8813。

电荷泵以电容器作为储能元件，但以升压式开关电源作为白光LED驱动器的应用也较为广泛。事实上，以电感器作为储能元件的电感升压式开关变换器，在电压提升的效能方面优于电荷泵式变换器。用作白光LED驱动器的电感升压式开关变换器多为电流输出型。

目前，小功率集成电感升压式开关变换器多带有作为功率开关的片内N沟道MOSFET管，但是储能电感通常仍需外接，如MAX1848、LT1937。属于电感升压式开关变换器的器件还有LM2704和LX1993。

3）开关电源 开关电源是利用现代电力电子技术，控制开关管开通和关断的时间比率，维持稳定输出电压的一种电源。直流开关电源，其功能是将电能质量较差的原生态电源（粗电），转换成满足设备要求的质量较高的直流电压（精电）。直流开关电源的核心是DC/DC转换器，分为AC/DC和DC/DC两大类。开关电源广泛应用于工业自动化控制、军工设备、科研设备、LED照明灯具、安防监控、电脑机箱、数码产品等领域。



LED电源有恒流电源，也有恒压恒流电源。恒压恒流电源是指既有恒压控制部件，又具有恒流控制部件的电源。

采用多只白光LED串联使用的方案有利于提高驱动电路的整体效率，但在实际应用时这一方法将会受到以下两方面的限制。

☺ 驱动电路的最高输出电压通常为有限值，所以同一支路中白光LED的串联个数不可能太多。

☺ 目前白光LED产品的一致性并不令人满意，同一支路中通常须用同一厂商、同一生

产批次的白光 LED，才能基本保证整个照明面积具有足够均匀的照度。

采用限流电阻进行电流匹配的 LED 灯具主要为灯箱，采用 LED 模组为光源，恒压源为供电电源，利用恒压来补偿正向电压的差异，从而保证白光 LED 亮度的一致性。

目前使用 LED 驱动电源不会受供电电压的影响而保证恒定的亮度，其输出则大多数为可随 LED 正向压降值变化而改变电压的恒定电流源。LED 照明灯具必须选用高品质的 LED 驱动电源，才能够满足恶劣工作环境而不损坏，因为损坏会产生高昂的维修成本。

在大多数应用中，LED 大部分情况下采用混合的串、并联方式进行配置，但在个别情况下也可通过串联方式连接在一起。对 LED 进行连接时是采用串联、并联还是混联的方式取决于应用的需要，每种 LED 光源配置方案都有本身的优点和不足之处。

10.2.2 白光 LED 驱动电路的设计

在许多白光 LED 的背光应用中，屏幕都需要背光调整功能。调光功能的实现方式有两种：模拟方式和 PWM 方式。

采用模拟方式调光时，只需将白光 LED 的电流降至最大值的一半，就能让屏幕亮度减小 50%，其缺点是白光 LED 色移需要模拟控制信号。

PWM 方式调光在减少的电流占空周期内提供完整电流给白光 LED，例如，要将亮度减半，只需在 50%的占空周期内提供完整的电流。PWM 信号的频率通常会超过 100Hz，以确保脉冲电流不会被眼睛察觉到，PWM 频率的最大值需视电源的启动和反应时间而定。为了得到最大的灵活性，同时让实现更容易，白光 LED 驱动器最高应能接受 50kHz 的 PWM 频率。调光信号通常来自系统处理器的 GPIO 引脚。

电感式驱动电路体积小、效率高，适合为绝大多数便携式电子产品提供更长的电池使用时间。在应用中可以调整电感式变换器的效率，以便在体积和效率之间取得最佳平衡。大多数电感式解决方案都采用升压变换器，升压式方案如图 10-13 所示。最多能驱动 6 只或 7 只串联的白光 LED。

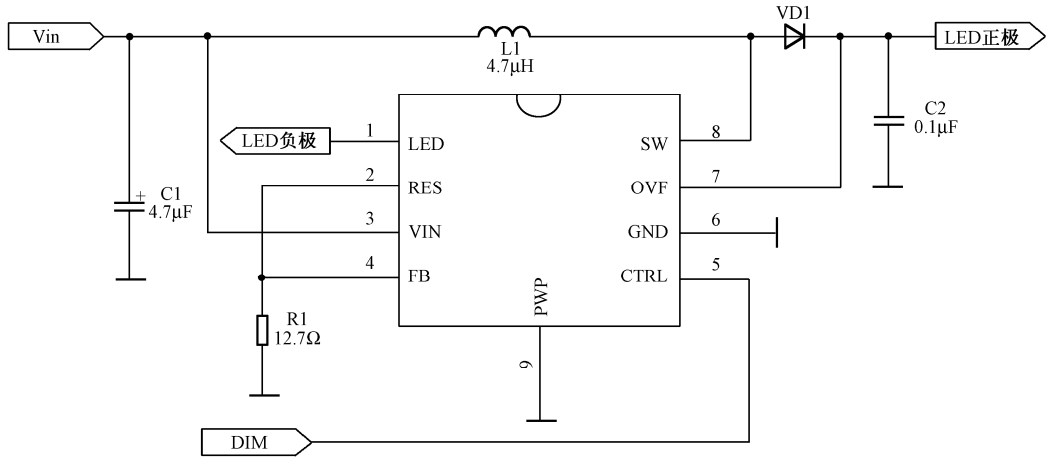


图 10-13 升压式方案

10.2.3 白光 LED 的并联和串联驱动

白光 LED 可以采用串联，也可以采用并联连接方式。在串联配置中，LED 的数量受驱动器最高电压的限制。若最高电压为 42V，则在串联配置中根据白光 LED 的正向电压，这一最高电压最多能够驱动 10～12 个白光 LED，驱动电流的范围是连续状态的 10～350mA。串联配置的优势是串联白光 LED 可以用单线传输电流。

无论并联方式还是串联方式，大多数便携式电子设备的电池电压都不足以驱动 LED，所以需要升压变换器。电荷泵利用电容实现电压转换，以提供高于电源电压或与电源电压反向的输出电压。在这种情况下，要对 LED 进行并联而不是串联。要确保 LED 电流的稳定，可通过附加电流源或限流电阻对 LED 电流进行匹配，以确保 LED 之间的电流差异微乎其微。当精确度处于次要位置时，最好使用限流电阻来减少连接数量并降低复杂度。电荷泵的主要缺点在于其效率低。开关和电容器的数量决定了电荷泵的增益，此增益通常为 1.5 倍压或 2 倍压。

基于电荷泵的白光 LED 驱动器限制电源电压通常为 5.5V 或 6V，由其构成的电路仅需要一种电源电压。而基于电感升压变换器的白光 LED 驱动器，某些电感升压变换器与电感器无须连接到同一个电源上，如采用 NCP5006、NCP5007 构成的电路的电源电压为 5.5V，但是由于功率开关的最高电压均为 22V，则电感器就需要更高的电源电压。

基于电荷泵的白光 LED 驱动电路的一个重要参数是 LED 驱动器产生的噪声，因为电容器要进行充、放电，所以电荷泵是大电流毛刺的来源。欲减小这种影响，必须设置高质量的输入滤波电路。由于基于电感式升压变换器的白光 LED 驱动器存在电感，故会引起电磁干扰（EMI）。通常情况下，改变开关频率可减少干扰，但是频率值取决于变换器的工作条件。

10.2.4 白光 LED 的驱动电路

1．白光 LED 基本驱动电路

由开关变换器构成的 LED 基本驱动电路如图 10-14 所示，反馈电压 V_{FB} 与内部基准电压 V_{ref} 进行比较后控制变换器的输出电压。如果将环境的亮度也列入白光 LED 亮度控制电路，则图 10-14 所示的白光 LED 驱动电路应改进为图 10-15 所示的电路。图 10-15 所示电路增加了 Tr1、R1、R2 及 IC1。图 10-15 所示电路中的 Tr1 输出电压 V_{SENS} 与白光 LED 的电流 I_{LED} 可用下式表示；

$$I_{LED}=\frac{1}{R_L}\left[V_{ref}-\frac{R_2}{R_1}\left(V_{SENS}-V_{ref}\right)\right] \tag{10-6}$$

此处假设 R_1=R_2，则式（10-6）改写为

$$I_{LED}=\frac{1}{R_L}\left(2V_{ref}-V_{SENS}\right) \tag{10-7}$$

对于利用式（10-7）驱动白光 LED 的场合，必须做下列调整。

☺ 为获得周围亮度，必须调整照度感测器的输出电压 V_{SENS}。

☺ 利用输出电压 V_{SENS} 调整白光 LED 的亮度。

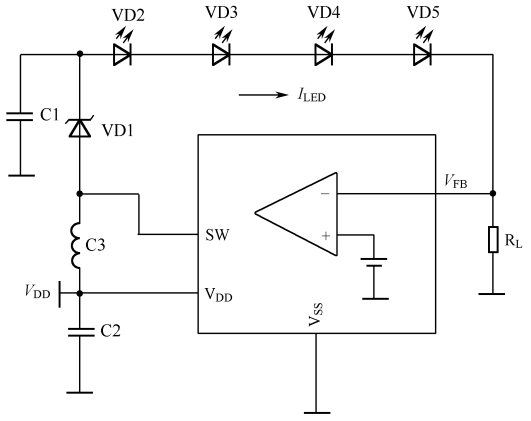


图 10-14　LED 基本驱动电路

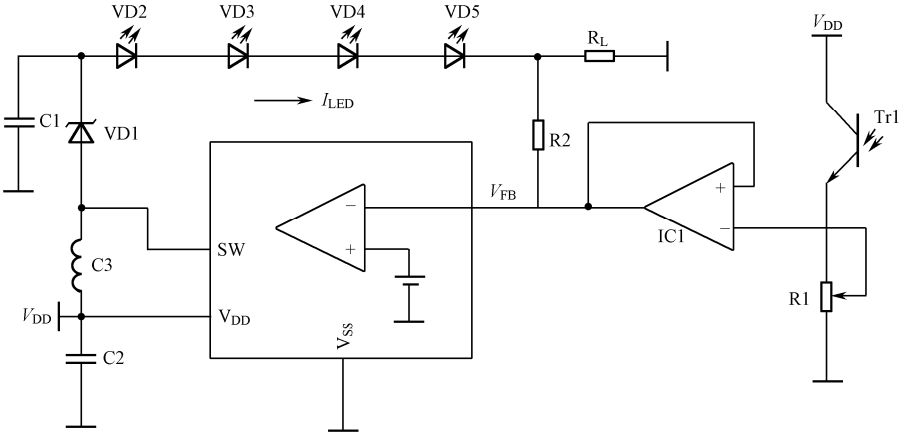


图 10-15　白光 LED 亮度控制电路

2．利用 PWM 信号控制白光 LED 亮度的驱动电路

驱动电路采用反馈电压进行 LED 亮度控制，见图 10-15。驱动电路采用 PWM 信号控制白光 LED 亮度，见图 10-16。在图 10-16 中，IC 的 EN 端子是可使开关变换器做 ON/OFF 模式运行的端子。如果对 EN 端子施加 PWM 信号，则白光 LED 会以某种速度做 ON/OFF 模式运行，进而实现 LED 亮度的控制。此电路中 Tr1 的输出信号需经 A/D 转换器转换为数字信号。白光 LED 的平均电流 $I_{LED\,(avg)}$ 可用下式计算：

$$I_{LED(avg)} = I_{LED(max)} \frac{S_{DUTY}}{100} \qquad (10\text{-}8)$$

式中，$I_{LED(max)}$为开关变换器的输出电流；S_{DUTY} 为 PWM 信号的占空因子（%）。

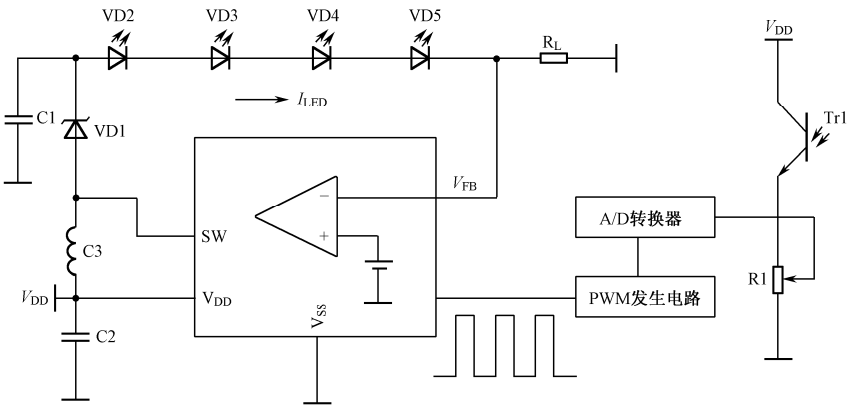


图 10-16　采用 PWM 信号控制白光 LED 的亮度

白光 LED 专用驱动电路 NJU6052 的内部电路方框图如图 10-17 所示，包括电压调整器、设定电路、A/D 转换器、PWM 控制器，以及可由微控制器设定内部阻抗值与动作模式的串行接口等。NJU6052 内部共有 8 个设定电阻，每个电阻都可任意设成 6 位，各电阻可利用环境照度检测晶体管产生的输入电压，以实现白光 LED 亮度由 64 阶段中的任意 8 阶段控制。此外，可根据环境照度由微控制器直接控制亮度。

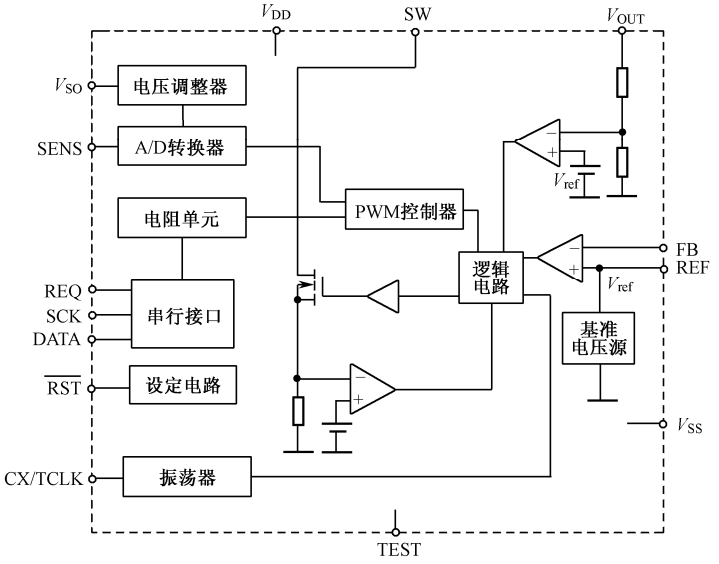


图 10-17　NJU6052 的内部电路方框图

由图 10-18 可知，NJU6052 除了可以用于升压与亮度控制之外，电路本身的外置元件非常少。

NJU6052 各元件参数取决于下列条件。

☺ 负载阻抗 R_L。由于内部基准电压 V_{ref} 为 0.6V，因此负载阻抗 R_L 可按下式计算:

$$R_L = \frac{V_{ref}}{I_{LED}} = \frac{0.6\text{V}}{I_{LED}} \tag{10-9}$$

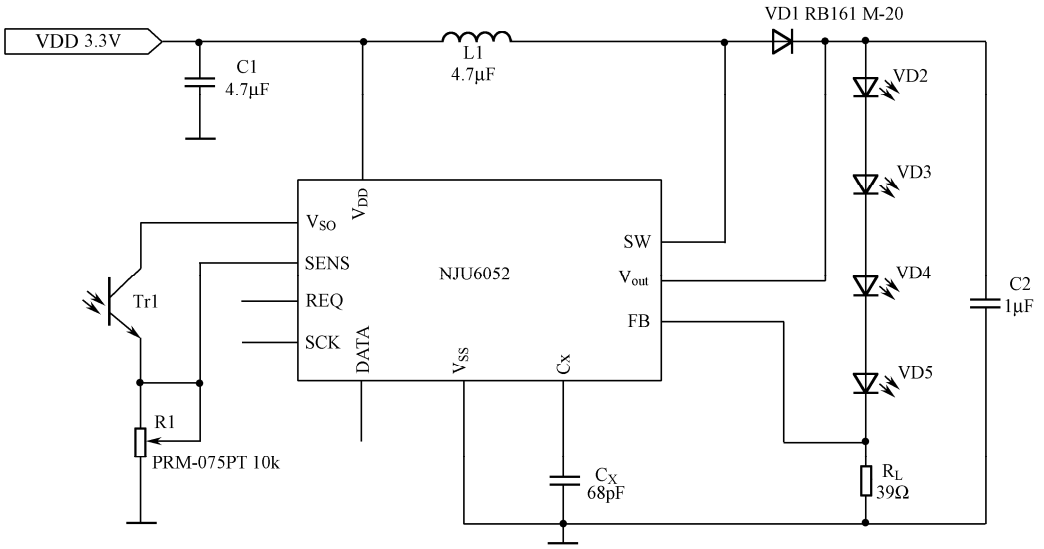


图 10-18　NJU6052 白光 LED 驱动电路

☺ 内部振荡器的电容量 C_X。C_X 可利用图 10-19 所示坐标图求得。由于振荡频率 f_{OSC} 介于 350 ~ 500kHz，因此内部振荡器的电容量 C_X 为 47 ~ 68pF。

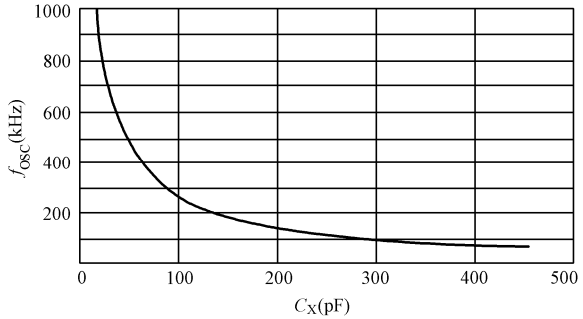


图 10-19　C_X 与 f_{OSC} 的关系

☺ L_1 电感值。L_1 电感值可用下式计算:

$$L_1 = \frac{2\left(\frac{V_{OUT}}{\eta} - V_{IN}\right) I_{LED}}{I_{LIMIT}^2 f_{OSC}} \tag{10-10}$$

☺ 二极管的选用。二极管额定电流与反向耐压在选择时要留有一定的裕度，具体参数应根据开关变换器的输出电压和电流来选择。二极管的正向电压越低，开关的速度越快，转换效率就越高。

☺ 电容器的选用。输入端可选用陶瓷电容器，组装时尽量靠近 NJU6052。基于抑制纹波电压等方面的考虑，输出电容应选用低 ESR 的电容。

3．调光改变光强功能

采用 MAX1916 同时驱动 3 只并联 LED 的电路如图 10-20 所示。图 10-20 所示电路的单个外部电阻（R_{SET}）用于设定流经每个白光 LED 的电流值。在 MAX1916 的使能引脚（EN）上加载脉宽调制信号，可以实现简单的亮度控制（调光功能）。

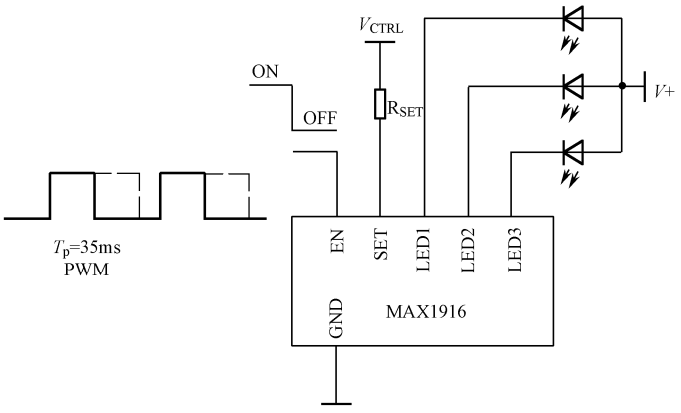


图 10-20　MAX1916 同时驱动 3 只并联 LED 的电路

MAX1916 具有极好的电流匹配度，不同 LED 之间的差别仅为 0.3%，因此每只白光 LED 具有一致的白光亮度。利用小型 D/A 变换器控制流经 R_{SET} 电阻的电流可以得到均匀的亮度。

6 位分辨率的变换器，如带有 I^2C 接口的 MAX5362 或者带有 SPI 接口的 MAX5365，能够提供 32 级亮度调节，如图 10-21 所示。由于正向电流会影响色彩坐标，因此白光 LED 发出的白光会随着光强的变化而改变。因为相同的正向电流会使得这个组里的每个白光 LED 都发出同样的光。

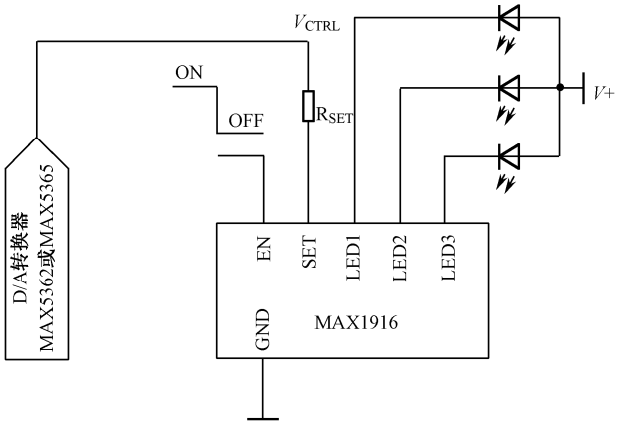


图 10-21　亮度调节电路

MAX1916 可以将流经白光 LED 的泄漏电流限定在 1μA，使发射光为零。拉高 EN 电平可以控制白光 LED 的正向电流。如果给 EN 引脚加脉宽调制信号，那么亮度就与该信号的

占空比成正比。PWM 信号可以由微处理器的 I/O 引脚或其外部设备提供，控制等级取决于所用的计数寄存器的字节长度。

MAX1916 内部配置有 3 路可调电流源，可驱动多种 LED，直接采用单节锂离子电池供电可驱动红光、绿光或黄光 GaAsP LED；配合电荷泵升压变换器，还可用于驱动白光 InGaN LED。对于有更高功率要求的应用，需采用基于电感的 MAX1848 变换器，外部只需要极少的组件，输出功率为 800mW 时转换效率达 88%。

4．具有电流控制功能的开关模式升压变换器

开关模式电压变换器 MAX1848 可以产生最高为 13V 的输出电压，足以驱动 3 个串联的白光 LED，如图 10-22 所示。这种方法也许是最简洁的，因为所串接的白光 LED 具有完全相同的电流。白光 LED 的电流由 R_{SENSE} 与施加在 CTRL 引脚上的电压共同决定。MAX1848 可以驱动几只串联的白光 LED，这些白光 LED 都具有相同的正向电流。通过白光 LED 的正向电流与施加在 CTRL 引脚的电压成正比。当施加在 CTRL 引脚上的电压低于 100mV 时 MAX1848 会进入关断模式，这样也可以实现 PWM 调光功能。

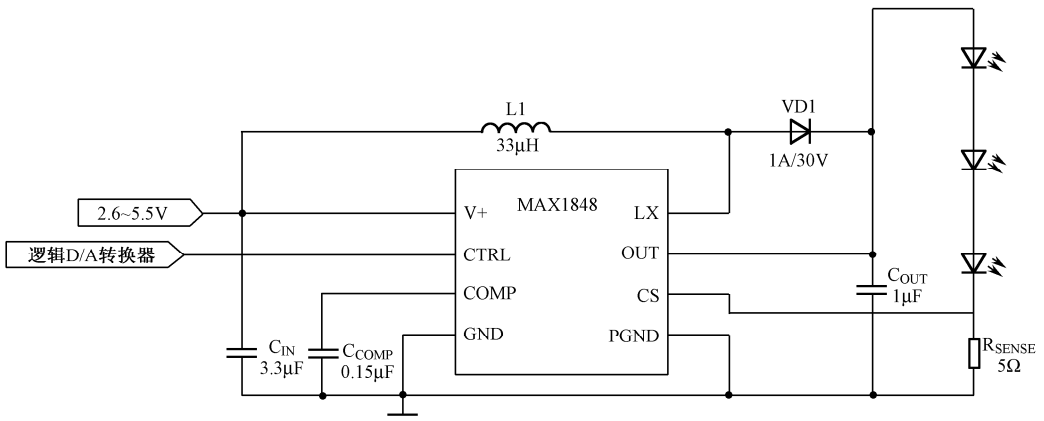


图 10-22　开关模式电压变换器 MAX1848

MAX1848 将升压变换器与电流控制电路集成在 6 引脚 SOT-23 封装内，利用电流检测驱动 3 组 LED，每组白光 LED 包括 3 只串行连接的白光 LED，如图 10-23 所示。输入电压范围为 2.6～5.5V。MAX1848 利用电压反馈结构调节流过 LED 的电流，较小的检流电阻（5Ω）有利于降低功耗和保持较高的转换效率。模拟控制器用于控制所有白光 LED 的亮度。典型应用电路的参数为：L_1=33μH，C_{COMP}=150nF，C_{OUT}=1.0μF，R_{SENSE}=5Ω。白光 LED 的电流由控制电压确定：

$$I_{OUT} = V_{CTRL}/13.33\ R_{SENSE} \qquad (10\text{-}11)$$

白光 LED 的亮度可以通过 CTRL 引脚的 D/A 转换器或电位器分压电路调节。电压控制范围为+250mV～+5.5V，将控制引脚接地可实现关断。负载功率为 800mW 时电路转换效率达 88%。

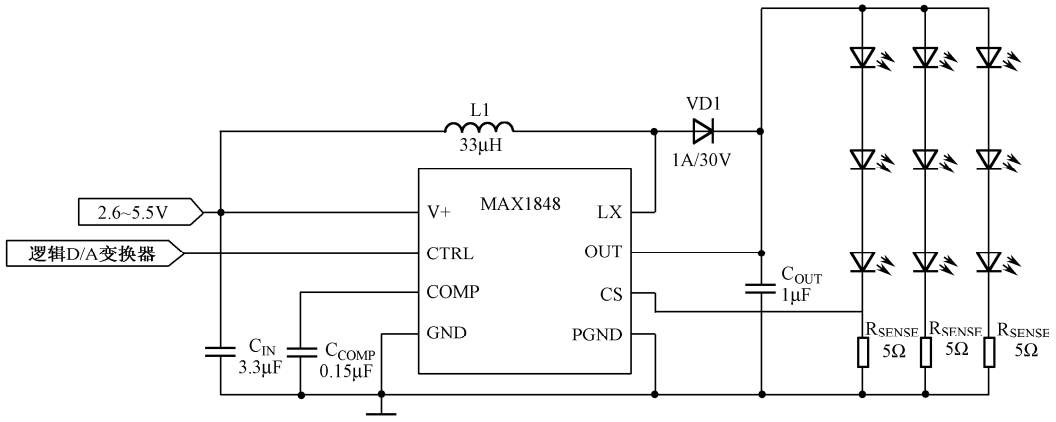


图 10-23　MAX1848 应用电路

10.2.5　白光 LED 工作电流的匹配

当把白光 LED 应用在背光显示或其他照明领域时，需要以定电流的方式来驱动它，原因如下。

☺ 采用定电流方式可保证白光 LED 工作在其额定电流的范围内，因此提高了白光 LED 工作的可靠性。

☺ 可以获得预期的白光 LED 工作电流的匹配度，使各白光 LED 的亮度和色度保持一致。

白光 LED 在 20mA 电流下，其正向电压介于 3.0～4.0V，假设仅简单地加上固定的正向电压，那么正向电流的差异可能相当大。图 10-24 所示为从两个生产厂中各选 3 只（共 6 只）白光 LED 的正向电压与正向电流特性。如果采用 3.4V 的电压驱动这 6 只 LED，则白光 LED 因生产厂的不同，将会造成 10～44mA 的正向电流差异。

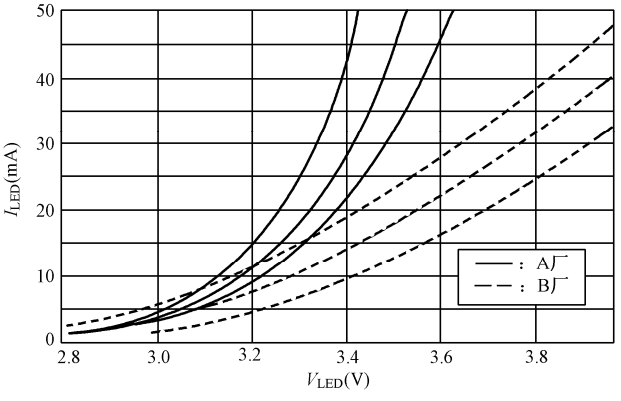


图 10-24　6 只白光 LED 的正向电压与正向电流特性

为保证可靠性，驱动白光 LED 的电流必须低于白光 LED 额定值的要求，最大值一般为 30mA。但是从图 10-25 可以看出，当环境温度升高时所允许的额定电流会降低。例如，当

温度达到 50℃时电流需限制在 20mA 以内。通过观察图 10-25、图 10-26 不难看出，采用恒压方式驱动白光 LED 的方案可靠性较差。另外，用恒定电流驱动白光 LED 还可以保证亮度和色度的一致性。

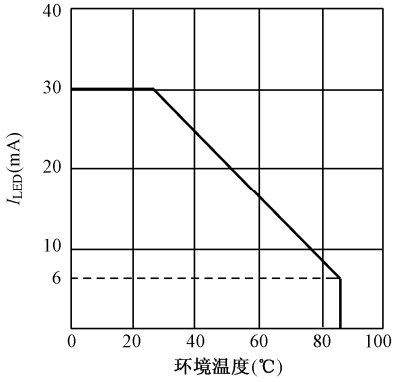


图 10-25　白光 LED 额定电流随环境温度变化的特性

图 10-26 所示为常见的白光 LED 的 4 种驱动电路，白光 LED 正向电压的差异会因为所采用的稳压线路不同而对电流的稳定精确度造成不同的影响。图 10-27 显示了由两个生产厂中各选择 3 只（共 6 只）白光 LED 的正向电压与正向电流特性，稳压器输出负载曲线与特性曲线的交叉点就是稳压点。

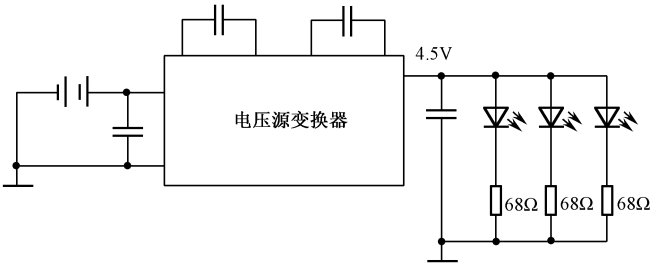
图 10-26（a）中的电路显示如何使用电压源变换器与限流电阻来控制白光 LED 的电流，该做法的优点是可以选用多种电压稳压器，同时只需将稳压器的一端连接到白光 LED 上；缺点是由于限流电阻所带来的功率耗损及白光 LED 的正向电流没有被精确控制，因此效率不佳。采用该电路驱动 6 只白光 LED 时，6 只白光 LED 的电流变化范围为 14.2～18.4mA。

图 10-26（b）所示电路实现了对 LED 电流的控制，其中限流电阻用来控制各 LED 间电流的匹配。该电路对于同一生产厂同批次的 LED 来说匹配精度较高，而对不同生产厂不同批次的 LED 来说匹配精度较差。采用该电路驱动 6 只白光 LED 时，6 只 LED 电流的变化范围为 15.4～16.9mA。图 10-26（b）所示电路的缺点是限流电阻有一定的功率消耗，同时白光 LED 的电流也无法实现高精度的匹配。

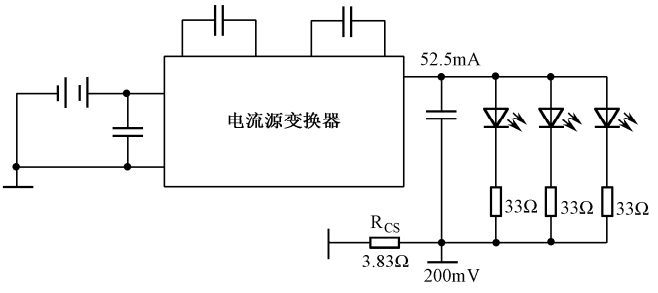
图 10-26（c）所示电路则独立控制每只白光 LED 的电流而不需使用限流电阻，电流的稳定精确度与匹配度由每个独立的电流控制器的精确度所决定。采用 MAX1570 变换器可达到 2%的电流精确度及 0.3%的电流匹配度。采用该电路驱动 6 只白光 LED 时，白光 LED 的电流稳定在 17.5mA。取消限流电阻虽然可以节省电路板空间，但在稳压器与白光 LED 之间增加了 4 个连接点。

图 10-26（d）所示则为采用电感升压式变换器来稳定白光 LED 电流的电路，其中反馈电压可以将电流检测电阻的功率损耗降到最低。由于白光 LED 以串联的方式进行连接，因此在任何情况下白光 LED 的电流都能完美地匹配，电流的精确度则由变换器的反馈电压的精确度决定，不受白光 LED 正向电压变化的影响。采用 MAX1848 驱动 3 只白光

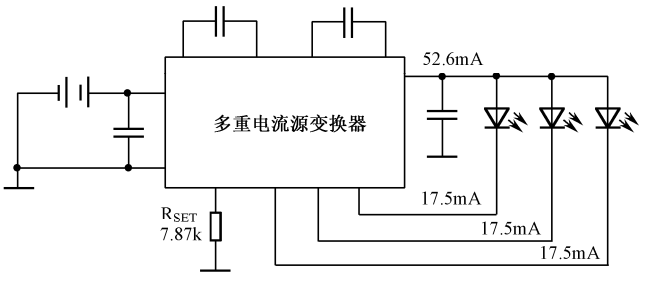
LED 时，效率可达 87%。采用 MAX1561 驱动 6 只白光 LED 时，效率可达 84%。该电路在稳压器与白光 LED 之间只需两个连接点，同时串联连接的白光 LED 也不受所用升压变换器的影响。



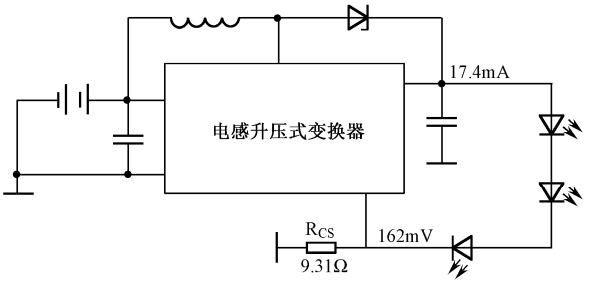
（a）电压源与限流电阻



（b）电流源与限流电阻

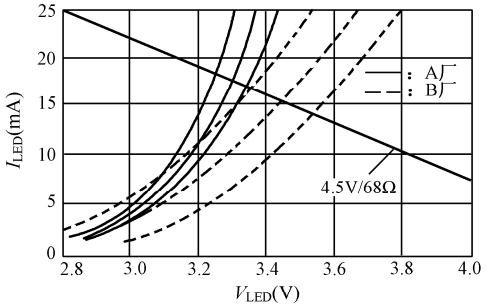


（c）多重电流源

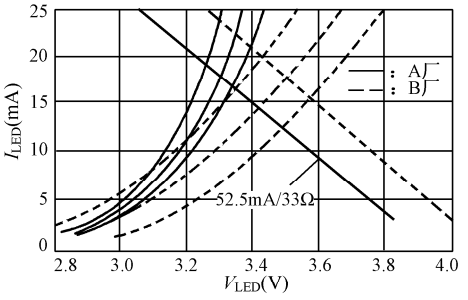


（d）电感升压式变换器且LED以串联形式连接

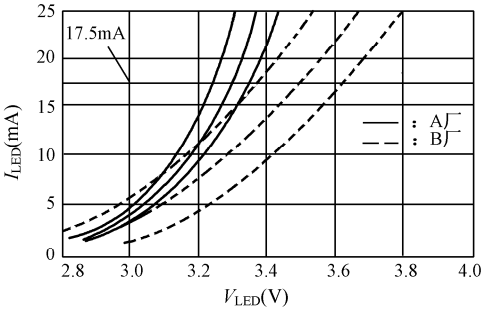
图 10-26　白光 LED 4 种常见的电源电路



（a）电压源与限流电阻曲线图



（b）电流源与限流电阻曲线图



（c）多重电流源或一个电流源搭配串行连接的LED曲线图

图 10-27　6 只白光 LED 的测试相对稳压精确度

10.3　白光 LED 驱动电路拓扑的选择

尽管白光 LED 优点很多，但 LED 驱动电路的设计却面临着重大挑战。空间限制的要求和散热的要求都对设计有所限制。

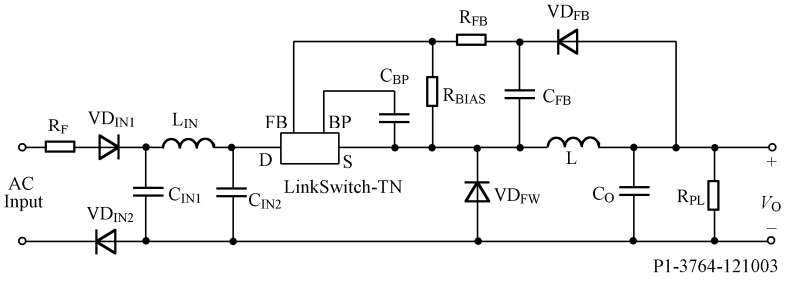
在低功率（≤3W）照明应用中，都使用了现成的非隔离式、基于电感的降压式和升降压式开关模式电源。本节将对这两种拓扑结构进行比较，论述各自的优缺点。

基本降压式转换器如图 10-28（a）所示，基本升降压式转换器如图 10-28（b）所示。LinkSwitch-TN 器件是在单片 IC 上集成功率 MOSFET、振荡器、简单的开/关控制、一个高压开关电流源、频率抖动、逐周期电流限流及热关断电路，可以简化转换器阶段的设计复杂度并减少元件数。LinkSwitch-TN 器件可通过漏极引脚实现自供电，无须使用偏置电源及相关电路。它极具成本效益，可用来替代输出电流小于或等于 360mA 的线性和电容降压式非隔离电源，因此能够提供出色的输入电压调整率和负载调整率。与无源元件电源方案相比，其效率更高，而功率因子则比电容降压式方案高。

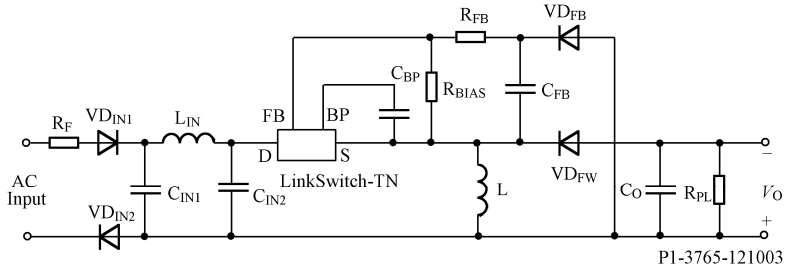
降压式转换器具有诸多优点。首先，它可以最大化所选 LinkSwitch-TN 器件的可用输出功率及电感值，同时还可以降低电源开关和续流二极管的电压应力。此外，流经输出电感的平均电流要略低于同类升降压式转换器中的平均电流。

升降压式转换器与降压式转换器相比，其配置具有一大优点，即输出二极管与负载串联。在降压式转换器中，如果 MOSFET 发生短路故障，则输入将直接与输出相连。而在升

降压式转换器中发生此类情况时，反向偏压输出二极管则会阻断输入和输出之间的通路。



（a）基本降压式转换器



（b）基本升降压式转换器

图 10-28　基本的 LinkSwitch-TN 结构

在这两种转换器中，AC 输入经 VD_{IN1}、VD_{IN2}、C_{IN1}、C_{IN2}、R_F（R_{F1} 或 R_{F2}）整流滤波。两个二极管可以增强输入电涌承受能力和传导 EMI 性能。使用可熔阻燃电阻作为 R_{F1}，可以使用只具阻燃功能的电阻作为 R_{F2}。LinkSwitch-TN 器件中的开/关控制用于调节输出电流。一旦进入反馈（FB）引脚的电流超过 49μA，MOSFET 开关将被禁用，以便进入下一开关周期。

设计 LED 驱动电路所面临的主要挑战是散热问题。解决该问题的唯一途径便是将热量传导至灯泡的旋入式灯座上。在上述的拓扑图中，LinkSwitch-TN 器件中添加有热关断电路，在结温超过 142℃时可禁用功率 MOSFET，从而防止 LED 遭受潜在的损坏。一旦结温下降 75℃，MOSFET 将自动重新开启。

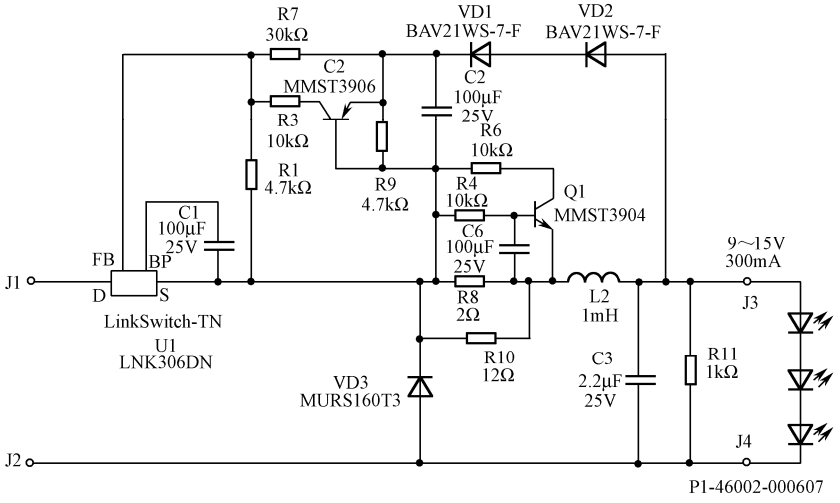
与降压拓扑结构相比，升降压拓扑结构的效率要略低一些，因为功率不会在 MOSFET 开关每次打开时都传输到输出端。因此，它产生的热量比降压拓扑结构多，不过差别不太明显。

为确保电路拓扑结构符合热调节要求，将电源组件安装到灯座中，然后测量 LNK306DN 源极引脚的温度。在理想情况下，源极引脚的温度不应超出 100℃。在 25℃的室内环境温度下测量的结果表明，V_{IN} 值上升到 AC 265V 时，源极引脚温度将超过 100℃。鉴于这些结果，断定可能对某些额外的散热器有热限制方面的要求，比如将 LED 散热片放于 U1SO-8C 封装顶端。

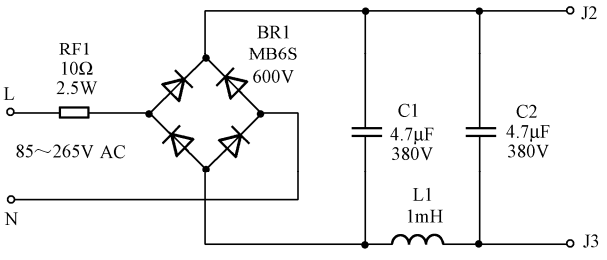
LED 驱动电子器件电路必须符合严格的 EN55022B/CISPR22B 传导 EMI 要求。在升降压电路拓扑结构中，EMI 噪声电流环路从 MOSFET 流向输出二极管、输出电容，然后返回输入电容；而在降压电路配置中，该电流环路从 MOSFET 流向续流二极管，然后返回输入

电容，因此较前者中的环路短。因此，在升降压设计中略微降低噪声很困难。

为了符合行业 EMI 规范，将驱动电子器件分成两个电路板，如图 10-29 所示。顶部的转换器电路板如图 10-29（a）所示，底部的输入整流/EMI 滤波器电路板如图 10-29（b）所示。然后在两个电路板之间放置法拉第屏蔽。电气连接到转换器电路板的屏蔽含有一个单面铜箔区域 PCB，后者的构造尺寸与底部输入整流/EMI 滤波器电路板相同。



（a）转换器电路板



（b）输入整流/EMI滤波器电路板

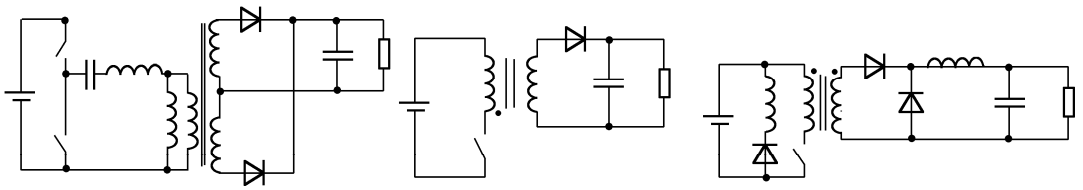
图 10-29　驱动电子器件分成两个电路板

从成本的角度来看，这两种电路拓扑结构具有类似的优点。重要的是，典型的设计要求使用约 25 个器件，并且允许使用现成的低成本电感，而不是使用自定义变压器。

在设计电流检测反馈环路中存在一个重要区别。电流反馈在正常工作期间会限制 LED 电流。可以通过使用 FB 引脚直接检测感应电阻间的压降来满足电流检测要求。但由于 FB 引脚的电压为 1.65V，会导致 GU10 壳体内产生耗散。因此，如果采用降压电路拓扑结构，则必须购买一些额外的低功率信号器件用于反馈环路，包括两个陶瓷电容、两个 NPN 表面贴装三极管及 4 个高精度厚膜电阻。

在采用 AC-DC 电源的 LED 照明应用中，电源转换的构建模块包括二极管、开关（FET）、电感、电容及电阻等分立元件，用于执行各自的功能，而脉宽调制（PWM）稳压器用于控制电源转换。电路中通常加入了变压器的隔离型 AC-DC 电源转换，包含反激、正激及半桥等拓扑结构，如图 10-30 所示。其中反激拓扑结构是功率小于 30W 的中低功

率应用的标准选择，而半桥结构则最适合于提供更高的能效/功率密度。就隔离结构中的变压器而言，其尺寸的大小与开关频率有关，且多数隔离型 LED 驱动器基本上采用“电子”变压器。



（a）反激　　（b）正激　　（c）LC半桥谐振拓扑结构

图 10-30　常见的隔离型拓扑结构

附录 A　照明灯具标准或技术规范及认证规则

1. 照明行业灯具标准（国内通用标准）

序号	标 准 编 号	标 准 名 称	发布日期	实施日期
1	GB 7000.1—2015	灯具第 1 部分：一般要求与试验	2015-12-23	2017-01-01
2	GB 7000.2—2008	灯具第 2-22 部分：特殊要求应急照明灯具	2008-04-11	2009-01-01
3	GB 7000.201—2008	灯具第 2-1 部分：特殊要求固定式通用灯具	2008-12-31	2010-02-01
4	GB 7000.202—2008	灯具第 2-2 部分：特殊要求嵌入式灯具	2008-12-31	2010-02-01
5	GB 7000.204—2008	灯具第 2-4 部分：特殊要求可移式通用灯具	2008-12-31	2010-02-01
6	GB 7000.207—2008	灯具第 2-7 部分：特殊要求庭园用可移式灯具	2008-12-30	2010-04-01
7	GB 7000.213—2008	灯具第 2-13 部分：特殊要求地面嵌入式灯具	2008-12-31	2010-02-01
8	GB 7000.217—2008	灯具第 2-17 部分：特殊要求舞台灯光、电视、电影及摄影场所（室内外）用灯具	2008-12-31	2010-02-01
9	GB 7000.218—2008	灯具第 2-18 部分：特殊要求游泳池和类似场所用灯具	2008-12-31	2010-02-01
10	GB 7000.225—2008	灯具第 2-25 部分：特殊要求医院和康复大楼诊所用灯具	2008-12-30	2010-04-01
11	GB 7000.203—2013	灯具 第 2-3 部分：特殊要求 道路与街路照明灯具	2013-12-31	2015-07-01
12	GB 7000.7—2005	投光灯具安全要求	2005-01-18	2005-08-01
13	GB 7000.9—2008	灯具第 2-20 部分：特殊要求灯串	2008-04-11	2009-01-01
14	GB17743—2007	电气照明和类似设备的无线电骚扰特性的限值和测量方法	2007-11-12	2009-11-01
15	GB 17625.1—2012	电磁兼容 限值 谐波电流发射限值（设备每相输入电流≤16A）	2012-12-31	2013-07-01
16	GB/T 20145—2006	灯和灯系统的光生物安全性	2006-03-06	2006-11-01
17	CJJ 45—2015	城市道路照明设计标准	2015-11-25	2007-07-01
18	GB 50034—2013	建筑照明设计标准	2013-11-29	2016-06-01
19	JGJ 243—2011	交通建筑电气设计规范	2011-08-04	2012-06-01
20	GB 50582—2010	室外作业场地照明设计标准	2010-05-31	2010-12-01
21	GB/T 5700—2008	照明测量方法	2008-07-16	2009-01-01
22	GB 50411—2007	建筑节能工程施工验收规范	2007-01-16	2008-10-01
23	GB/T 18595—2014	一般照明用设备电磁兼容抗扰度要求	2014-12-22	2015-06-01
24	GB 17625.2—2007	电磁兼容 限值 对每相额定电流≤16A 且无条件接入的设备在公用低压供电系统中产生的电压变化、电压波动和闪烁的限制	2007-04-30	2008-01-01
25	GB/T 9468—2008	灯具分布光度测量的一般要求	2008-06-18	2009-05-01
26	GB/T 7002—2008	投光照明灯具光度测试	2008-06-18	2009-05-01
27	GB 30255—2013	普通照明用非定向自镇流 LED 灯能效限定值及能效等级	2013-12-18	2014-09-01
28	GB/Z 30418—2013	灯具 IK 代码的应用	2013-12-31	2014-12-01
29	GB/T 30104.207—2013	数字可寻址照明接口 第 207 部分：控制装置的特殊要求 LED 模块（设备类型 6）	2013-12-17	2014-11-01

续表

序号	标 准 编 号	标 准 名 称	发布日期	实施日期
30	GB/T 30117.2—2013	灯和灯系统的光生物安全 第 2 部分：非激光光辐射安全相关的制造要求指南	2013-12-17	2014-07-15
31	GB/T 7249—2016	白炽灯的最大外形尺寸	2016-04-25	2016-11-01
32	GB/T 20144—2016	带灯罩环的灯座用筒形螺纹	2016-04-25	2016-11-01
33	GB/T 21656—2016	灯的国际编码系统（ILCOS）	2016-04-25	2016-11-01
34	GB/T 31897.1—2015	灯具性能 第 1 部分：一般要求	2015-09-11	2016-04-01
35	JB/T 8735.3—2016	额定电压 450/750V 及以下橡皮绝缘软线和软电缆第 3 部分：橡皮绝缘编织软电线	2016-04-05	2016-09-01
36	GB/T 5702—2003	光源显色性评价方法	2003-01-01	2003-06-01
37	GB 17945—2010	消防应急照明和疏散指示系统	2010-09-02	2011-05-01
38	GB/T 7922—2008	照明光源颜色的测量方法	2008-06-26	2009-03-01
39	GB/T 19658—2013	反射灯中心光强和光束角的测量方法	2013-12-31	2014-12-01
40	GB/T 9468—2008	灯具分布光度测量的一般要求	2008-06-18	2009-05-01
41	GB/T 5700—2008	照明测量方法	2008-07-16	2009-01-01
42	SN/T 3325.1—2012	进出口照明器具检验规程 第 1 部分：LED 光源	2012-12-12	2013-07-01
43	SN/T 3325.2—2013	进出口照明器具检验规程 第 2 部分：普通照明用 LED 模块	2013-08-31	2014-03-01
44	SN/T 3325.3—2013	进出口照明器具检验规程 第 3 部分：自镇流 LED 灯	2013-11-06	2014-06-01
45	SN/T 3326.5—2013	进出口照明器具检验技术要求 第 5 部分：LED 灯的能效	2013-11-06	2014-06-01
46	SN/T 3326.6—2013	进出口照明器具检验技术要求 第 6 部分：出口标志照明灯的能效	2013-11-06	2014-06-01
47	SN/T 1588.2—2013	进出口灯具检验规程 第 2 部分：通用要求	2013-11-06	2014-06-01
48	SN/T 1588.3—2013	进出口灯具检验规程 第 3 部分：游泳池及类似场所用灯具的特殊要求	2013-11-06	2014-06-01
49	SN/T 1588.11—2013	进出口灯具检验规程 第 11 部分：可移式通用灯具	2013-11-06	2014-06-01
50	SN/T 1588.12—2013	进口灯具检验规程 第 12 部分：螺口灯座	2013-11-06	2014-06-01
51	SJ/T 11558.1—2016	LED 驱动电源 第 1 部分：通用规范	2016-04-05	2016-09-01
52	SJ/T 11558.2.1—2016	LED 驱动电源 第 2-1 部分：LED 路灯用驱动电源	2016-01-15	2016-06-01
53	SJ/T 11558.2.2—2016	LED 驱动电源 第 2-2 部分：LED 隧道灯用驱动电源	2016-01-15	2016-06-01
54	SJ/T 11558.5—2015	LED 驱动电源 第 5 部分：测试方法	2015-10-10	2016-04-01
55	GB/T 17626.5—2008	电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验	2008-05-20	2009-01-01
56	GB/T 2828.1—2012	计数抽样检验程序 第 1 部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划	2012-11-05	2013-02-15
57	GB/T 18595—2014	一般照明用设备电磁兼容抗扰度要求	2014-12-12	2015-06-01
58	GB/T 31275—2014	照明设备对人体电磁辐射的评价	2014-10-10	2015-04-01
59	GB/T 32038—2015	照明工程节能监测方法	2015-09-11	2016-04-01

2．LED 照明灯具标准（中国国标）

序号	标 准 编 号	标 准 名 称	发布日期	实施日期
1	GB 24819—2009	普通照明用 LED 模块　安全要求	2009-12-15	2010-05-01
2	GB/T 24823—2009	普通照明用 LED 模块　性能要求	2009-12-15	2010-05-01
3	GB/T 24824—2009	普通照明用 LED 模块　测试方法	2009-12-15	2010-05-01

续表

序号	标 准 编 号	标 准 名 称	发布日期	实施日期
4	GB/T 24826—2016	普通照明用 LED 产品和相关设备术语和定义	2016-04-25	2017-05-01
5	GB/T 24825—2009	LED 模块用直流或交流电子控制装置 性能要求	2009-12-15	2010-05-01
6	GB/T 24827—2015	道路与街路照明灯具性能要求	2015-09-11	2016-04-01
7	GB/T 24909—2009	装饰照明用 LED 灯	2010-06-30	2011-02-01
8	GB/T 24907—2010	道路照明用 LED 灯 性能要求	2010-06-30	2011-02-01
9	GB 24906—2010	普通照明用 50V 以上自镇流 LED 灯 安全要求	2010-06-30	2011-02-01
10	GB/T 24908—2014	普通照明用非定向自镇流 LED 灯 性能要求	2014-09-03	2015-08-01
11	GB 19510.14—2009	灯的控制装置 第 14 部分：LED 模块用直流或交流电子控制装置的特殊要求	2009-10-15	2010-12-01
12	GB 19651.3—2008	杂类灯座 第 2-2 部分：LED 模块用连接器的特殊要求	2008-12-30	2010-04-01
13	GB/T 29293—2012	LED 筒灯测试方法	2012-12-31	2013-09-01
14	GB/T 29294—2012	LED 筒灯性能要求	2012-12-31	2013-09-01
15	GB/T 29295—2012	反射型自镇流 LED 灯性能测试方法	2012-12-31	2013-09-01
16	GB/T 29296—2012	反射型自镇流 LED 灯 性能要求	2012-12-31	2013-09-01
17	GB/T 30413—2013	嵌入式 LED 灯具性能要求	2013-12-31	2014-12-01
18	GB/T 31111—2014	反射型自镇流 LED 灯规格分类	2014-09-03	2015-08-01
19	GB/T 31112—2014	普通照明用非定向自镇流 LED 灯规格分类	2014-09-03	2015-08-01
20	GB/T 31831—2015	LED 室内照明应用技术要求	2015-06-30	2016-01-01
21	GB/T 31832—2015	LED 城市道路照明应用技术要求	2015-06-30	2016-01-01
22	GB 30255—2013	普通照明用非定向自镇流 LED 灯能效限定值及能效等级	2013-12-18	2014-09-01
23	GB/T 32482.1—2016	LED 分选 第 1 部分：一般要求和白光栅格	2016-02-14	2016-09-01
24	GB/T 32486—2016	舞台 LED 灯具通用技术要求	2016-02-14	2016-09-01
25	GB/T 32481—2016	隧道照明用 LED 灯具性能要求	2016-02-14	2016-09-01
26	GB/T 31897.201—2016	灯具性能 第 2-1 部分：LED 灯具特殊要求	2016-02-14	2016-09-01
27	GB/T 32483.3—2016	灯控制装置的效率要求 第 3 部分：卤钨灯和 LED 模块 控制装置效率的测量方法	2016-02-14	2016-09-01
28	GB/T 32655—2016	植物生长用 LED 光照术语和定义	2016-04-25	2016-11-01
29	GB/T 30454—2013	LED 用稀土硅酸盐荧光粉试验方法	2013-12-31	2014-10-01
30	GB/T 30655—2014	氮化物 LED 外延片内量子效率测试方法	2014-12-31	2015-09-01
31	GB/T 30854—2014	LED 发光用氮化镓基外延片	2014-07-24	2015-04-01
32	GB/T 30855—2014	LED 外延芯片用磷化镓衬底		
33	GB/T 30856—2014	LED 外延芯片用砷化镓衬底		
34	GB/T 31446—2015	LED 主动发光道路交通标志	2015-05-15	2015-08-01
35	GB/T 9364.11—2016	小型熔断器 第 11 部分：LED 灯用熔断体	2016-08-29	2017-03-01

3. 地方标准

序号	标 准 编 号	标 准 名 称	发 布 部 门	实施日期
1	DB35/T 810—2008	普通照明用 LED 灯具（固定式、可移式、嵌入式）	福建省质量技术监督局	2008-07-10
2	DB35/T 811—2008	景观装饰用 LED 灯具		
3	DB35/T 812—2008	投光照明用 LED 灯具		
4	DB35/T 813—2008	道路照明用 LED 灯具		
5	DB35/T 1465—2014	户外照明用 LED 模块		2015-02-02
6	DB35/T 1494—2015	LED 道路智能照明控制系统技术规范		2015-06-01
7	DB35/T 1495—2015	矿井照明用 LED 灯具技术规范		
8	DB35/T 1466—2014	LED 高杆灯		2015-02-02
9	DB35/T 1296—2012	大功率 LED 路灯		2013-02-01
10	DB35/T 1303—2012	LED 室内照明产品 总要求		2013-03-01
11	DB35/T 1305—2012	LED 道路照明驱动电源		2013-03-01
12	DB35/T 1307—2012	公路隧道照明用 LED 灯具		2013-03-01
13	DB35/T 1402—2013	室内照明用白光 LED 球泡灯		2014-03-10
14	DB35/T 1403—2013	照明用多芯片集成封装 LED 筒灯		2014-03-10
15	DB35/T 1416—2014	室内照明用 LED 平板灯具技术规范		2014-06-05
16	DB35/T 1494—2015	LED 道路智能照明控制系统技术规范		2015-06-01
17	DB35/T 1495—2015	矿井照明用 LED 灯具技术规范		
18	DB35/T 1563—2016	LED 植物生长灯技术规范		2016-07-06
19	DB41/T 637—2010	LED 道路照明灯具	河南省质量技术监督局	2010-11-07
20	DB41/T 636—2010	LED 商业照明灯具		
21	DB41/T 635—2010	LED 工业照明灯具		
22	DB41/T 638—2010	LED 隧道照明灯具		
23	DB61/T 488—2010	道路照明用 LED 灯	陕西省质量技术监督局	2010-04-15
24	DB61/T 549—2012	公路隧道照明用 LED 灯具通用技术条件		2012-05-10
25	DB61/T 938—2014	公路隧道 LED 照明设计规范		2015-01-01
26	DB42/T 566—2009	LED 路灯照明灯具	湖北省质量技术监督局	2009-10-24
27	DB43/T 672—2014	LED 路灯	湖南省质量技术监督局	2014-12-01
28	DB43/T 680—2012	LED 筒灯		2012-06-08
29	DB43/T 681—2012	LED 日光灯		2012-06-08
30	DB44/T 609—2009	LED 路灯	广东省质量技术监督局	2009-07-01
31	DB44/T 1042—2012	双端自镇流 LED 管形灯		2012-10-15
32	DB44/T 1161—2013	LED 投光灯		2014-11-24
33	DB44/T 1217—2013	LED 路灯、隧道灯用驱动电源 电气性能要求		2014-03-06

续表

序号	标 准 编 号	标 准 名 称	发 布 部 门	实施日期
34	DB44/T 1329—2014	道路照明用 LED 电源/控制装置 性能要求	广东省质量技术监督局	2014-07-18
35	DB44/T 1330—2014	普通照明用 LED 控制装置性能要求		
36	DB44/T 1331—2014	LED 射灯		
37	DB44/T 1332—2014	LED 平板灯		
38	DB44/T 1333—2014	户外 LED 装饰墙性能要求及测量方法		
39	DB44/T 1334—2014	充电式 LED 手电筒		
40	DB44/T 1337—2014	汽车库 LED 照明设计标准		
41	DB44/T 1338—2014	汽车隧道 LED 照明设计标准		
42	DB44/T 1339—2014	可移式 LED 灯具		
43	DB44/T 1395—2014	集中供电式道路照明用 LED 模块的电气接口规范		2014-11-14
44	DB44/T 1488—2014	带传感器的 LED 灯测试方法		2015-03-02
45	DB44/T 1489—2014	室内 LED 照明产品光舒适度通用技术要求		2015-03-02
46	DB44/T 1490—2014	带传感器的 LED 灯性能要求		2015-03-02
47	DB44/T 1620—2015	地铁场所用 LED 照明设计标准		2015-10-01
48	DB44/T 1621—2015	非自镇流 LED 管形灯		
49	DB44/T 1622—2015	地铁场所照明用 LED 灯应用技术规范		
50	DB44/T 1628—2015	LED 灯带		
51	DB44/T 1631—2015	LED 护栏灯		
52	DB44/T 1632—2015	道路照明用 LED 电源/控制装置 可靠性测试方法		
53	DB44/T 1633—2015	游泳池和类似场所用 LED 灯具		
54	DB44/T 1634—2015	地下停车场用 LED 灯具技术规范		
55	DB44/T 1636—2015	LED 地埋灯		
56	DB44/T 1637—2015	LED 照明模块热特性测量方法		
57	DB44/T 1638—2015	自镇流 LED 玉米灯		
58	DB44/T 1623—2015	LED 读写台灯		
59	DB44/T 1624—2015	LED 照明产品环境声明 Ⅲ型环境声明		
60	DB44/T 1625—2015	LED 照明产品环境声明 PCR 文件格式要求		
61	DB44/T 1626—2015	LED 照明产品环境声明 EPD 报告格式要求		
62	DB44/T 1627—2015	LED 照明产品能效要求		
63	DB44/T 1493.2—2015	LED 道路照明远程管理技术 规范第 2 部分：电力线载波 控制模块		2015-11-03
64	DB44/T 1493.3—2015	LED 道路照明远程管理技术 规范第 3 部分：应用层通信 协议		
65	DB44/T 1640—2015	LED 球泡灯控制装置技术规格要求		
66	DB44/T 1641—2015	LED 洗墙灯		

续表

序号	标准编号	标准名称	发布部门	实施日期
67	DB44/T 1642—2015	风光互补 LED 路灯	广东省质量技术监督局	2015-11-03
68	DB44/T 1643—2015	广东省 LED 路灯、隧道灯产品评价标杆体系管理规范		
69	DB44/T 1644—2015	广东省 LED 室内照明产品评价标杆体系管理规范		
70	DB44/T 1645—2015	集成式（COB）白光 LED 技术要求		
71	DB44/T 1646—2015	射灯用 LED 模块技术规格要求		
72	DB44/T 1647—2015	筒灯用 LED 模块互换标准		
73	DB44/T 1648—2015	球泡灯用 LED 模块技术规格要求		
74	DB44/T 1890—2016	室内 LED 灯智能控制系统通用技术规范		2016-09-29
75	DB44/T 1891—2016	LED 路灯智能管理系统评价方法		2016-12-29
76	DB44/T 1893—2016	LED 背光组件测试方法		
77	DB44/T 1894—2016	LED 路灯、隧道灯高低温耐候性试验方法		
78	DB44/T 1895—2016	半导体照明器件色差一致性在线快速评估方法		
79	DB44/T 1896—2016	LED 烛形泡		
80	DB44/T 1897—2016	LED 室内照明产品重大缺陷快速评估方法		
81	DB44/T 1898—2016	LED 道路照明工程技术规范		
82	DB44/T 1899—2016	LED 舞台灯		
83	DB44/T 1900—2016	LED 路灯隧道灯照明应用效果模拟评测与计算方法		
84	DB44/T 1901—2016	LED 球泡灯		
85	DB37/T 1181—2009	太阳能 LED 灯具通用技术条件	山东省质量技术监督局	2009-03-01
86	DB37/T 1801—2011	城市照明智能监控系统技术规范		2011-02-01
87	DB31/T 515—2010	LED 室内照明灯应用技术规范	上海市质量技术监督局	2011-03-15
88	DB31/T 516—2010	LED 道路照明灯应用技术规范		
89	DB31/T 468.1—2009	采用 LED 技术的照明工程施工与验收规范 第 1 部分：施工规范		2009-05-01
90	DB31/T 468.2—2009	采用 LED 技术的照明工程施工与验收规范 第 2 部分：验收规范		
91	DB31/T 708—2013	公共场所发光二极管（LED）显示屏最大可视亮度限值和测量方法		2013-09-01
92	DB31/T 316—2012	城市环境（装饰）照明规范		2012-12-01
93	DB36/T 581—2010	室内照明 LED 管形灯	江西省质量技术监督局	2010-11-01
94	DB36/T 580—2010	室内照明 LED 球泡灯		2010-11-01
95	DB36/T 596.1—2010	LED 照明工程施工与验收规范 第 1 部分：施工规范		2010-12-01
96	DB36/T 596.2—2010	LED 照明工程施工与验收规范 第 2 部分：验收规范		
97	DB36/T 596.3—2010	LED 照明工程施工与验收规范 第 3 部分：LED 道路照明工程施工与验收规范		
98	DB36/T 579—2010	LED（发光二极管）路灯		2010-10-01

续表

序号	标 准 编 号	标 准 名 称	发 布 部 门	实施日期
99	DB36/T 653—2012	太阳能 LED 路灯	江西省质量技术监督局	2012-06-01
100	DB36/T 654—2012	室内照明 LED 面板灯		2012-06-01
101	DB36/T 740—2013	室内照明 LED 筒灯		2014-02-01
102	DB36/T 741—2013	反射型自镇流 LED 灯		2014-02-01
103	DB36/T 857—2015	公路隧道 LED 照明设计规范		2015-12-01
104	DB36/T 858—2015	公路隧道 LED 照明灯技术条件		2015-12-01
105	DB36/T 859—2015	公路隧道 LED 照明施工验收规范		2015-12-01
106	DB51/T 1794—2014	道路灯 LED 模块互换规范	四川省质量技术监督局	2014-08-01
107	DB52/T 791—2013	LED 灯泡通用接口	贵州省质量技术监督局	2013-02-05
108	DB65/T 3371—2012	LED 隔爆型防爆灯	新疆维吾尔自治区质量技术监督局	2012-02-20
109	DB11/T 1008—2013	建筑太阳能光伏系统安装及验收规程	北京市质量技术监督局	2013-10-01
110	DB11/T 1273—2015	LED 交通诱导显示屏技术要求		
111	DB11/T 1274—2015	LED 广告屏应用技术规范		2016-04-01
112	DB11/T 1349—2016	城市照明节能管理规程		2016-12-01
113	DB11/T 388.1—2015	城市景观照明技术规范 第 1 部分：总则		2015-11-01
114	DB11/T 388.2—2015	城市景观照明技术规范 第 2 部分：设计要求		
115	DB11/T 388.3—2015	城市景观照明技术规范 第 3 部分：干扰光限制		2015-11-15
116	DB11/T 388.4—2015	城市景观照明技术规范 第 4 部分：节能要求		2015-11-01
117	DB11/T 388.5—2015	城市景观照明技术规范 第 5 部分：安全要求		
118	DB11/T 388.6—2015	城市景观照明技术规范 第 6 部分：供配电与控制		
119	DB11/T 388.7—2015	城市景观照明技术规范 第 7 部分：施工与验收		
120	DB11/T 388.8—2015	城市景观照明技术规范 第 8 部分：管理与维护		
121	DB11/T 542—2008	太阳能光伏室外照明装置技术要求		2008-07-01
122	DB13/T 1311—2010	城市夜景照明运行、维护与管理	河北省质量技术监督局	2010-11-25
123	DB21/T 2135—2013	LED 系列户外灯具	辽宁省质量技术监督局	2013-07-25
124	DB21/T 2136—2014	普通照明用 LED 系列室内灯具		2014-05-07

4. 国家半导体照明工程研发及产业联盟技术规范

序号	技术规范编号	技术规范名称
1	CSA 001—2009	整体式 LED 路灯的测量方法
2	CSA 002—2010	半导体照明试点示范工程 LED 道路照明产品技术规范
3	CSA 003—2009	LED 隧道灯

续表

序号	技术规范编号	技术规范名称
4	CSA 004—2010	半导体照明试点示范工程 LED 道路和隧道照明现场检测及验收实施细则
5	CSA 005—2013	寒地 LED 道路照明产品 性能要求
6	CSA 006—2010	LED 筒灯
7	CSA 007—2010	反射型自镇流 LED 照明产品
8	CSA 008—2011	照明用 LED 驱动电源通用规范
9	CSA 009—2013	自镇流非定向 LED 灯
10	CSA 010—2011	地铁场所照明用 LED 灯具技术规范
11	CSA 011—2011	普通照明用双端 LED 灯 安全要求
12	CSA 012—2011	普通照明用双端 LED 灯 性能要求
13	CSA 013—2012	LED 平板灯（具）
14	CSA 014—2012	有机发光二极管照明 术语和文字符号
15	CSA 015—2012	有机发光二极管照明 测试方法
16	CSA 016—2015	LED 照明应用接口要求：自散热、控制装置分离式 LED 模组的路灯/隧道灯
17	CSA 017—2013	室内 LED 照明外置式恒流控制装置接口要求
18	CSA 018—2013	LED 公共照明智能系统接口应用层通信协议
19	CSA 019.1—2013	LED 照明产品检验试验规范第 1 部分：通用要求
20	CSA 019.2—2013	LED 照明产品检验试验规范第 2 部分：道路照明用的 LED 灯
21	CSA 019.3—2013	LED 照明产品检验试验规范第 3 部分：LED 筒灯
22	CSA 019.4—2013	LED 照明产品检验试验规范第 3 部分：LED 射灯
23	CSA 020—2013	LED 照明产品加速衰减试验方法
24	CSA 021—2013	植物生长用 LED 平板灯 性能要求
25	CSA 022—2015	LED 照明应用与接口符合性测量方法：非集成式 LED 模块的道路灯具/隧道灯具
26	CSA 023—2014	LED 照明应用接口要求：不带散热、控制装置分离式的 LED 模组的筒灯
27	CSA 024—2014	LED 照明应用接口符合性测量方法：不带散热、控制装置分离式的 LED 模组的筒灯
28	CSA 025—2014	LED 照明应用接口要求：不带散热、控制装置分离式的 LED 模组的射灯
29	CSA 026—2014	LED 照明应用接口符合性测量方法：不带散热、控制装置分离式的 LED 模组的射灯
30	CSA 027—2014	LED 户外照明防雷技术要求
31	CSA 028—2016	LED 远程荧光粉器件
32	CSA 029—2015	室外 LED 照明产品用 LED 模块直流或交流电子控制装置加速寿命试验方法
33	CSA 030—2014	LED 照明光组件 体系分类
34	CSA 031—2016	爆炸性气体环境用 LED 防爆灯 性能要求
35	CSA 032—2016	植物光照用 LED 灯具通用技术规范
36	CSA 035.1—2016	LED 照明产品视觉健康舒适度 测试 第 1 部分：概述
37	CSA/TR001—2014	LED 照明控制系统标准化综述

5. 中国质量认证中心照明电器自愿性产品认证规则

序号	规 则 编 号	规 则 名 称
1	CQC12-465137—2013	反射型自镇流 LED 灯节能认证规则
2	CQC31-465138—2010	普通照明用自镇流 LED 灯安全与电磁兼容认证规则
3	CQC31-465392—2013	LED 道路隧道照明产品节能认证规则
4	CQC31-465315—2013	LED 筒灯节能认证规则
5	CQC31-465317—2014	LED 平板灯具节能认证规则
6	CQC31-465197—2014	双端 LED 灯（替换直管形荧光灯用）节能认证规则
7	CQC3127—2016	LED 道路/隧道照明产品节能认证技术规范
8	CQC3128—2013	LED 筒灯节能认证技术规范
9	CQC3129—2013	反射型自镇流 LED 灯节能认证技术规范
10	CQC3147—2014	LED 平板灯具节能认证技术规范
11	CQC3148—2014	双端 LED 灯（替换直管形荧光灯用）节能认证技术规范
12	CQC1106—2014	双端 LED 灯（替换直管形荧光灯用）安全认证技术规范
13	CQC31-465192—2014	普通照明用非定向自镇流 LED 灯节能认证规则
14	CQC12-465196—2014	双端 LED 灯安全和电磁兼容认证规则
15	CQC31-465318—2016	中小学校及幼儿园教室照明产品节能认证规则
16	CQC3155—2016	中小学校及幼儿园教室照明产品节能认证技术规范
17	CQC11-465001—2016	LED 照明产品蓝光危害等级认证规则
18	CQC16-465316—2013	视觉作业台灯认证规则
19	CQC1601—2016	视觉作业台灯认证技术规范
20	CQC16-465394—2015	光伏电源供电的 LED 道路和街路照明系统认证规则
21	CQC1602—2013	光伏电源供电的 LED 道路和街路照明系统认证技术规范
22	CQC11-465314—2009	36V 及以下灯具安全认证规则
23	CQC12-465313—2010	灯具和灯具用电源导轨系统安全与电磁兼容认证规则
24	CQC13-465428—2016	照明用智能控制设备及终端产品安全和性能认证规则

6. 方圆标志认证集团认证规则

序号	规 则 编 号	规 则 名 称
1	CQM53-3872-01—2013	LED 筒灯高效照明产品认证规则
2	CQM53-3872-02—2013	反射型自镇流 LED 灯高效照明产品认证规则
3	CQM53-3872-04—2013	自镇流非定向 LED 灯高效照明产品认证规则
4	CQM53-3872-03—2013	LED 路灯隧道灯高效照明产品认证规则
5	CQM53-3872-05—2013	装饰用 LED 灯高效照明产品认证规则

7. 广东质检中诚认证有限公司照明电器自愿性产品认证规则

序号	规 则 编 号	规 则 名 称
1	CTC/ZC-4653-01—2015	36V 及以下灯具认证实施规则
2	CTC/ZC-4653-02—2015	普通照明用自镇流 LED 灯认证实施规则
3	CTC/ZC-4653-03—2016	投光灯具认证实施规则
4	CTC/ZC-4653-04—2016	路灯安全和电磁兼容认证规则
5	CTC/ZC-4653-06—2016	灯具和灯具用电源导轨系统安全和电磁兼容认证规则
6	CTC/ZC-4010-01—2016	电器电子产品 RoHS 认证

8. 中国照明学会技术规范

序号	技术规范编号	技术规范名称
1	T/CIES 001—2016	车库 LED 照明技术规范
2	T/CIES 002—2016	照明工程设计收费标准

附录 B　IP 防护等级简介

IP（International Protection）防护等级系统由 IEC（International Electrotechnical Commission）起草，将灯具依其防尘防湿特性加以分级。IP 防护等级由两个数字组成，第 1 个数字表示灯具离尘、防止外物侵入的等级，第 2 个数字表示灯具防湿气、防水侵入的密闭程度。数字越大表示其防护等级越高。两个标示数字所表示的防护等级分别见表 B-1 及表 B-2。

表 B-1　第一个标示特性号码（数字）所指的防护程度

特征	防 护 等 级	
等级	简　　述	防 护 细 节
0	没有防护	对外界的人或物无特殊防护
1	防止大于 50mm 的固体物体侵入	防止人体（如手掌）因意外而接触到灯具内部的零件，防止较大尺寸（直径大于 50mm）的外物侵入
2	防止大于 12mm 的固体物体侵入	防止人的手指接触到灯具内部的零件，防止中等尺寸（直径大于 12mm）的外物侵入
3	防止大于 2.5mm 的固体物体侵入	防止直径或厚度大于 2.5mm 的工具、电线或类似的细小外物侵入而接触到灯具内部的零件
4	防止大于 1.0mm 的固体物体侵入	防止直径或厚度大于 1.0mm 的工具、电线或类似的细小外物侵入而接触到灯具内部的零件
5	防尘	完全防止外物侵入，虽不能完全防止灰尘进入，但侵入的灰尘量并不会影响灯具的正常工作
6	完全防尘	完全防止外物侵入，且可完全防止灰尘进入

注：（1）第一位特征数字为 1～4 的灯具应能防止 3 个互相垂直的尺寸都超过第 3 栏相应数字的、形状规则或不规则的固体异物进入外壳。

（2）对具有泄水孔或通风孔的灯具，第一特征数字为 3 和 4 时，其具体要求由有关产品标准规定。

（3）对具有泄水孔的灯具，第一特征数字为 5 时，其具体要求由有关产品标准规定。

（4）灯具的防护等级至少为 IP2X。

表 B-2　第二个标示特性号码（数字）所指的防护程度

特征	防 护 等 级	
等级	简　　述	防 护 细 节
0	没有防护	没有防护
1	防止滴水侵入	垂直滴下的水滴（如凝结水）对灯具不会造成有害影响
2	倾斜 15° 时仍可防止滴水侵入	当灯具由垂直倾斜至 15°时，滴水对灯具不会造成有害影响
3	防止喷洒的水侵入、防雨	防止与垂直的夹角小于 60°的方向所喷洒的水进入灯具造成损坏
4	防止飞溅的水侵入	防止各方向飞溅而来的水进入灯具造成损坏
5	防止喷射的水侵入	防止来自各方向由喷嘴射出的水进入灯具造成损坏
6	防止大浪的侵入	装设于甲板上的灯具，防止因大浪的侵袭而进入造成损坏
7	防止浸水时水的侵入	灯具浸在水中一定时间或水压在一定的标准以下能确保不因进水而造成损坏
8	防止沉没时水的侵入	灯具无限期地沉没在指定水压的状况下，能确保不因进水而造成损坏

注：表中第二位特征数字为 7，通常指水密型；第二位特征数字为 8，通常指加压水密型。水密型灯具未必适合于水下工作，而加压水密型灯具应能用于这样的场合。

常用 IP 等级如表 B-3 所示。

表 B-3　常用 IP 等级

IP 等级	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	IP00								
1									
2	IP20			IP23					
3				IP33					
4	IP40		IP42		IP44				
5					IP54	IP55			
6						IP65	IP66	IP67	IP68

参 考 文 献

[1] 方志烈. 半导体照明技术[M]. 北京：电子工业出版社，2009.

[2] 刘祖明，丁向荣. LED 照明应用基础与实践[M]. 北京：电子工业出版社，2013.

[3] 刘祖明. 图解 LED 应用从入门到精通（第 2 版）[M]. 北京：机械工业出版社，2016.

[4] 杨清德. LED 照明工程与施工[M]. 北京：金盾出版社，2009.

[5] 周志敏，周纪海，纪爱华. LED 驱动电路设计实例[M]. 北京：电子工业出版社，2008.

[6] 刘祖明. LED 照明工程设计与产品组装[M]. 北京：化学工业出版社，2011.

[7] 毛兴武，张艳雯，周建军，祝大卫. 新一代绿色光源 LED 及其应用技术[M]. 北京：人民邮电出版社，2008.

[8] 杨恒. LED 照明驱动器设计步骤详解[M]. 北京：中国电力出版社，2010.

[9] 刘祖明，黎小桃. LED 照明设计与应用（第 2 版）[M]. 北京：电子工业出版社，2014.

[10] 陈大华. 绿色照明 LED 实用技术[M]. 北京：化学工业出版社，2009.

[11] 杨清德. LED 驱动电路设计与工程施工案例精讲[M]. 北京：化学工业出版社，2010.

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：（010）88254396；（010）88258888
传　　真：（010）88254397
E - m a i l：dbqq@phei.com.cn
通信地址：北京市海淀区万寿路 173 信箱
　　电子工业出版社总编办公室
邮　　编：100036